طرق تربية النبات



سلسلة تربية النبات

طرق تربية النبات

تأليف

أ. د. أحمد عبدالمنعم حسن

الأستاذ بكلية الزراعة - جامعة القاهرة

دكتوراه الفلسفة (تربية نبات)

جامعة كورنلّ - الولايات المتحدة الأمريكية

الطبعة الأولى

٢٠٠٥

حقوق النشر

سلسلة تربية النبات

طرق تربية النبات

رقم الإيداع : ٢٠٠٤/١٤٥٢٥
I. S. B. N. : 977 - 258 - 201- 5

للدار العربية للنشر والتوزيع
٣٢ شارع عبـــاس العقاد - مدينة نصر
ت : ٢٧٥٣٣٣٥ فاكس : ٢٧٥٣٣٨٨

مقدمة الناشر

يتزايد الاهتمام باللغة العربية فى بلادنا يومًا بعد يوم. ولاشك أنه فى الغد القريب ستستعيد اللغة العربية هيبتها التى طالما امتهنت وأذلت من أبنائها وغير أبنائها. ولا ريب فى أن امتهان لغة أية أمة من الأمم هو إذلال ثقافى فكرى للأمة نفسها، الأمر الذى يتطلب تضافر جهود أبناء الأمة رجالاً ونساءً، طلابًا وطالبات، علماء ومثقفين، مفكرين وسياسيين فى سبيل جعل لغة العروبة تحتل مكانتها اللائقة التى اعترف المجتمع الدولى بها لغة عمل فى منظمة الأمم المتحدة ومؤسساتها فى أنحاء العالم، لأنها لغة أمة ذات حضارة عريقة استوعبت – فيما مضى – علوم الأمم الأخرى، وصهرتها فى بوتقتها اللغوية والفكرية، فكانت لغة العلوم والأدب، ولغة الفكر والكتابة والمخاطبة.

إن الفضل فى التقدم العلمى الذى تنعم به أوروبا اليوم يرجع فى واقعه إلى الصحوة العلمية فى الترجمة التى عاشتها فى القرون الوسطى. فقد كان المرجع الوحيد للعلوم الطبية والعلمية والاجتماعية هو الكتب المترجمة عن اللغة العربية لابن سينا وابن الهيثم والفارابى وابن خلدون وغيرهم من عمالقة العرب، ولم ينكر الأوروبيون ذلك، بل يسجل تاريخهم ما ترجموه عن حضارة الفراعنة والعرب والإغريق، وهذا يشهد بأن اللغة العربية كانت مطواعة للعلم والتدريس والتأليف، وأنها قادرة على التعبير عن متطلبات الحياة وما يستجد من علوم، وأن غيرها ليس بأدق منها، ولا أقدر على التعبير.

ولكن ما أصاب الأمة من مصائب وجمود بدأ مع عصر الاستعمار التركى، ثم البريطانى والفرنسى، عاق اللغة عن النمو والتطور، وأبعدها عن العلم والحضارة، ولكن عندما أحس العرب بأن حياتهم لابد من أن تتغير، وأن جمودهم لابد أن تدب فيه الحياة، اندفع الرواد من اللغويين والأدباء، والعلماء فى إنماء اللغة وتطويرها، حتى أن مدرسة قصر العينى فى القاهرة، والجامعة الأمريكية فى بيروت درستا الطب بالعربية أول إنشائها. ولو تصفحنا الكتب التى ألفت أو تُرجمت يوم كان الطب يدرس فيهما باللغة العربية لوجدناها كتبًا ممتازة لا تقل جودة عن أمثلتها من كتب الغرب فى ذلك الحين، سواء فى الطبع، أو حسن التعبير، أو براعة الإيضاح، ولكن هذين المعهدين تنكرا للغة العربية فيما بعد، وسادت لغة المستعمر. وفرضت على أبناء الأمة فرضًا، إذ رأى المستعمر فى خنق اللغة العربية مجالاً لعرقلة الأمة العربية.

وبالرغم من المقاومة العنيفة التى قابلها، إلا أنه كان بين المواطنين صنائع سبقوا الأجنبى فيما يتطلع إليه، فتفننوا فى أساليب التملق له اكتسابًا لمرضاته، ورجال تأثروا بحملات المستعمر الظالمة، يشككون فى قدرة اللغة على استيعاب الحضارة الجديدة، وغاب عنهم ما قاله الحاكم الفرنسى لجيشه الزاحف إلى الجزائر: "علموا لغتنا وانشروها حتى نحكم الجزائر، فإذا حكمت لغتنا الجزائر، فقد حكمناها حقيقة".

فهل لى أن أوجه نداءً إلى جميع حكومات الدول العربية بأن تبادر – فى أسرع وقت ممكن – إلى اتخاذ التدابير، والوسائل الكفيلة باستعمال اللغة العربية لغة تدريس فى جميع مراحل التعليم العام، والمهنى، والجامعى، مع العناية الكافية باللغات الأجنبية فى مختلف مراحل التعليم لتكون وسيلة الإطلاع على تطور العلم والثقافة والانفتاح على العالم. وكلنا ثقة من إيمان العلماء والأساتذة بالتعريب، نظرًا لأن استعمال اللغة القومية فى التدريس ييسر على الطالب سرعة الفهم دون عائق لغوى، وبذلك تزداد حصيلته الدراسية، ويرتفع بمستواه العلمى، وذلك يعتبر تأصيلاً للفكر العلمى فى البلاد، وتمكينًا للغة القومية من الازدهار والقيام بدورها فى التعبير عن حاجات المجتمع، وألفاظ ومصطلحات الحضارة والعلوم.

ولا يغيب عن حكومتنا العربية أن حركة التعريب تسير متابطئة، أو تكاد تتوقف، بل تحارب أحيانًا ممن يشغلون بعض الوظائف القيادية فى سلك التعليم والجامعات، ممن ترك الإستعمار فى نفوسهم عقدًا وأمراضًا، رغم أنهم يعلمون أن جامعات إسرائيل قد ترجمت العلوم إلى اللغة العبرية، وعدد من يتخاطب بها فى العالم لا يزيد عن خمسة عشر مليون يهوديًا، كما أنه من خلال زياراتى لبعض الدول واطلاعى وجدت كل أمة من الأمم تدرس بلغتها القومية مختلف فروع العلوم والآدب والتقنية، كاليابان، وإسبانيا، وألمانيا، ودول أمريكا اللاتينية، ولم تشك أمة من هذه الأمم فى قدرة لغتها على تغطية العلوم الحديثة، فهل أمة العرب أقل شأنًا من غيرها ؟!.

وأخيرًا .. وتمشيًا مع أهداف الدار العربية للنشر والتوزيع، وتحقيقًا لأغراضها فى تدعيم الإنتاج العلمى، وتشجيع العلماء والباحثين فى إعادة مناهج التفكير العلمى وطرائقه إلى رحاب لغتنا الشريفة، تقوم الدار بنشر هذا الكتاب المتميز الذى يعتبر واحدًا من ضمن ما نشرته – وستقوم بنشره – الدار من الكتب العربية التى قام بتأليفها أو ترجمتها نخبة ممتازة من أساتذة الجامعات المصرية والعربية المختلفة.

وبهذا .. ننفذ عهدًا قطعناه على المضى قدما فيما أردناه من خدمة لغة الوحى، وفيما أرداه الله تعالى لنا من جهاد فيها.

وقد صدق الله العظيم حينما قال فى كتابه الكريم: ﴿ وَقُلِ اعْمَلُوا فَسَيَرَى اللَّهُ عَمَلَكُمْ وَرَسُولُهُ وَالْمُؤْمِنُونَ وَسَتُرَدُّونَ إِلَى عَالِمِ الغَيْبِ وَالشَّهَادَةِ فَيُنَبِّئُكُم بِمَا كُنتُمْ تَعْمَلُونَ﴾.

محمد أحمد دربالة

الدار العربية للنشر والتوزيع

المقدمة

هذا هو الكتاب الثانى من سلسلة كتب "تربية النبات"، حيث سبقه إلى الظهور كتاب "الأسس العامة لتربية النبات". ونظرًا لأن دراسة طرق تربية النبات – التى هى موضوع هذا الكتاب – يعتمد اعتمادًا كليًا على الفهم الدقيق لأسس التربية؛ لذا فإن الارتباط يبدو واضحًا بين موضوع الكتابين.

يتضمن الكتاب الحالى ثمانية عشر فصلاً تتناول بالشرح الواضح الميسر جميع الطرق التقليدية لتربية النبات – الكلاسيكية منها والمستحدثة – موزعة على فصول الكتاب على النحو التالى:

- طرق التربية التى تعتمد على الانتخاب المباشر (الفصل الأول).
- طرق التربية التى تُمارس فيها عمليتا التهجين والانتخاب (الفصل الثانى)، وهى انتخاب النسب (الفصل الثالث)، وانتخاب التجميع (الفصل الرابع)، والانتخاب المتكرر (الفصل الخامس)، والتهجين الرجعى (الفصل السادس).
- طرق التربية التى تولى اهتمامًا خاصًا بقوة الهجين، وهى الأصناف الهجين (الفصل السابع)، والأصناف التركيبية (الفصل الثامن).
- التربية التى تعتمد على الطفرات، سواء أكانت طبيعية، أم مستحدثة (الفصلان التاسع والعاشر).
- التربية التى تعتمد على ظاهرة التضاعف الكروموسومى بمختلف صورها (الفصول: الحادى عشر إلى الثالث عشر).
- التربية التى تعتمد على الهجن النوعية (الفصل الرابع عشر).
- الطرق المختلفة لتربية النباتات الخضرية التكاثر (الفصل الخامس عشر).
- طرق إنتاج الأصناف المتعددة السلالات ومخاليط الأصناف (الفصل السادس عشر).
- حقوق المربى وطرق تقييم وتسجيل الأصناف الجديدة التى يقوم بإنتاجها (الفصل السابع عشر).

• الطرق العملية لإنتاج تقاوى الهجن لبعض المحاصيل الزراعية (الفصل الثامن عشر).

أحمد الله كثيرًا على أن أعانني على إتمام هذا العمل، الذى أرجو يكون إضافة للمكتبة العربية، وأن يكون عونًا للمهتمين بتربية النبات من طلاب، وأساتذة، وباحثين.

والله ولى التوفيق.

أ. د. أحمد عبد المنعم حسن

محتويات الكتاب

الصفحة

الصفحـة

الصفحة

الصفحة

الصفحة

الصفحة

الصفحة

الصفحة

الصفحة

الفصل الأول

طرق التربية بالانتخاب المباشر

نتناول في هذا الفصل طرق التربية التي تعتمد على الانتخاب المباشر في الاختلافات الوراثية المتوفرة، دون أن يقوم المربي بإجراء أية تلقيحات، وهي التي تعد من أبسط طرق التربية. وتجدر الإشارة إلى أن الانتخاب لا يؤدي إلى إحداث تغيرات وراثية، ولكنه يجري في وجودها. كما أن الانتخاب لا يكون مجديًّا إلا إذا كانت الاختلافات المتوفرة وراثية.

تعتبر عملية الانتخاب selection هي الركيزة الأساسية للتحسين في أي برنامج للتربية، وتعتمد جميع طرق التربية بالانتخاب المباشر على توفر الاختلافات الوراثية بين أفراد العشيرة النباتية بصورة طبيعية؛ وكل ما يفعله المربي هو انتخاب التراكيب الوراثية المناسبة التي تتوفر فيها الصفات المرغوبة وإكثارها؛ لتصبح صنفًا جديدًا قائمًا بذاته. أما طرق التربية التي تعتمد على التهجين مع الانتخاب – وهي التي تشكل الجزء الأكبر من هذا الكتاب – فإن المربي يسعى بنفسه لتأمين الاختلافات التي تتكون كانعزالات وراثية عقب قيامه بالتهجين بين أفراد تختلف – وراثيًّا – عن بعضها البعض.

انتخاب الصفات البسيطة في العشائر الذاتية التلقيح

تعتبر عملية انتخاب الصفات البسيطة في عشائر النباتات الذاتية التلقيح سهلة وميسورة. فسواء أكانت الصفات المرغوبة سائدة، أم متنحية .. فإنها توجد – دائمًا – بحالة أصيلة في عشائر النباتات الذاتية التلقيح؛ ويكون من السهل تمييز الأفراد الحاملة للجينات التي تتحكم في هذه الصفات، خاصة عندما تكون درجات توريثها مرتفعة، وهو ما تتميز به غالبية الصفات البسيطة.

ويؤدي انتخاب الأفراد الحاملة للصفات المرغوبة إلى تكوين عشائر جديدة محسنة.

وتكون مهمة المربى – بعد ذلك – مقارنة العشائر الجديدة بالعشيرة الأصلية، وبالأصناف التجارية الشائعة فى الزراعة؛ للتأكد من تفوق إحداها أو بعضها قبل إطلاق زراعتها كصنف جديد.

انتخاب السلالة النقية

تعرف السلالة النقية Pure Line بأنها: نسل نبات واحد ذاتى التلقيح، وتكون جميع أفرادها أصيلة وراثيًّا homozygous، بنسبة ١٠٠٪، كما تكون متجانسة homogenous وراثيًا تمامًا. ويتبين من تعريف السلالة النقية أنها لا تتوفر إلا فى النباتات الذاتية التلقيح؛ لذا .. فإن التربية بطريقة انتخاب السلالة النقية Pure Line Selection لا تتبع إلا مع هذه الفئة من النباتات.

وتكون بداية برنامج التربية – عادة – فى عشيرة تكثر فيها الاختلافات الوراثية كالأصناف البلدية أو الأصناف القديمة غير المعتنى بها، والتى تكون قد تراكمت فيها الاختلافات الوراثية؛ نتيجة للتلقيح الاعتباطى مع أصناف أخرى، أو نتيجة لحدوث الطفرات بها.

وتتلخص خطوات برنامج التربية بانتخاب السلالة النقية، فيما يلى:

١ – يُنتخبْ عدد كبير من النباتات من عشيرة الأساس. وتعد هذه الخطوة غاية فى الأهمية، لأن النباتات المنتخبة تمثل الحد الأقصى للاختلافات الوراثية التى يمكن الحصول عليها؛ وذلك لأن كلا منها يعطى نسلاً عبارة عن سلالة نقية، تتماثل جميع أفرادها – وراثيًّا – مع بعضها البعض، ومع النبات الذى نشأت منه؛ وعليه .. فإن كانت النباتات المنتخبة عديمة الجدوى .. فإن الانتخاب فيها لن يقود إلى أى تقدم.

٢ – يزرع نسل كل نبات منتخب على حدة فى الموسم التالى؛ لملاحظته، والتخلص من أية سلالة نقية تظهر فيها عيوب واضحة. وتستمر هذه الخطوة – عادة – لعدة مواسم زراعية؛ بغرض التخلص من أكبر عدد من السلالات قبل البدء فى المرحلة الثالثة والأخيرة من برنامج التربية، والتى تكون على نطاق اسع. ويمكن – عن طريق العدوى الصناعية بالحشرات ومسببات الأمراض الهامة – التخلص من عدد آخر من السلالات.

وتجدر الإشارة إلى أن التلقيح الذاتي الطبيعي – في هذه الفئة من النباتات – يُسهِّل كثيرًا من مهمة المربي الذي يكتفي بتعليم السلالات المرغوبة، ثم حصاد بذورها دونما حاجة لتكييسها أو عزلها؛ نظرًا لعدم حدوث خلط وراثي بين السلالات بعضها ببعض. كما أن استمرار التلقيح الذاتي يعمل على استمرار احتفاظ كل سلالة بصفاتها؛ مما يجعل من المكن خلط بذور كل سلالة – معًا – منذ البداية.

٣ – تجرى الخطوة الأخيرة بعد أن يعجز المربي عن التخلص من أية سلالات أخرى بمجرد الملاحظة، حيث يقوم – حينئذ – بمقارنة السلالات المتبقية بالأصناف التجارية الشائعة في الزراعة في تجارب موسعة، يقدر فيها المحصول والصفات الاقتصادية الهامة. ويتم – في النهاية – انتخاب سلالة واحدة، تكون هي أساس الصنف الجديد.

وتجدر الإشارة إلى أن الأصناف الجديدة التي تنتج بهذه الطريقة تنشأ من تراكيب وراثية ، توجد منذ البداية في العشيرة الأصلية، وأن كل ما يتم خلال سنوات التربية هو التعرف على هذه التراكيب، وإثبات أنها أفضل من التراكيب الوراثية الأخرى، ومن الأصناف التجارية المستعملة في الزراعة.

وتستعمل السلالات النقية في المجالات التالية:

١ – كأصناف جديدة.

٢ – كآباء في برامج التربية بالتهجين.

٣ – في دراسات استحداث الطفرات، حيث يمكن ارجاع أي تباينات وراثية جديدة في السلالة النقية إلى الطفرات المستحدثة.

ولطريقة انتخاب السلالة النقية أهمية كبيرة في تحسين الأصناف البلدية، وقد اتبعت في تحسين جميع المحاصيل الاقتصادية الهامة الذاتية التلقيح؛ كالقمح، والأرز، والفاصوليا، والبسلة؛ فأمكن في البسلة – على سبيل المثال – انتخاب نباتات مقاومة للسلالة رقم ٦ من الفطر *Fusarium oxysporum* f. sp. *pisi* المسبب لمرض الذبول الفيوزاري. وقد وجدت النباتات المقاومة بنسبة تقل عن ٠,٢٪. كما وجدت اختلافات وراثية بين النباتات – في عدد من الأصناف التجارية – في صفات: موعد الإزهار، وعدد العقد حتى الزهرة الأولى، وطول النبات. وقد تمكن Haglund & Anderson

(١٩٨٧) من انتخاب سلالات نقية من الصنفـين إيرلى فروسـتى Early Frosty، ودارك سكن برفكشن Dark Skin Perfection، اختلفت - جوهريًا - عنهما فى صفـات: عـدد الأيام حتى الإزهار، وعدد السـلاميات حتـى أول زهـرة، والمحصـول، كمـا وجـد لـدى مقارنة سلالة منتخبة من كل صنف مع الصنف الأصلى الذى انتخبت منه - لمدة خمس سنوات - أن محصولهما كان أعلى من محصول الصنفين الأصليـين بمتوسـط قـدره ٤٤٪ لإحداهما، و ٥٦٪ للأخرى. هذا .. بينمـا لم تختلـف السـلالات المنتخبـة عـن الصنـف الأصلى الذى نشأت منه فى الصفات المورفولوجية العامة المميزة للصنـف، وهـو مـا يـدل على أنها لم تكن راجعة إلى خلط ميكانيكى لبذور الصنف مع صنف آخر.

ومن أهم مزايا انتخاب السلالات النقية، ما يلى:

١ - يحقق أكبر تقدم وراثى ممكن فى الصنف الأصلى لأننا ننتخب أفضل ما فيه.

٢ - التجانس التام.

٣ - سهولة التعرف على الصنف فى برامج تسجيل الأصناف بسبب تجانسه التام.

أما أهم عيوب انتخاب السلالة النقية، فهى كما يلى:

١ - لا يكون الصنف الجديـد علـى نفـس القـدر مـن التـأقلم علـى التقلبـات البيئيـة كالصنف الأصلى الذى انتخب منه.

٢ - تتطلب الطريقة وقتًا وجهدًا أكبر من المربى عن طريقة الانتخاب الإجمالى وتكون أكثر منها تكلفة.

٣ - يتحدد الحد الأقصى للتحسين الوراثى بمدى توفر الاختلافات المرغوب فيها فى العشيرة الأصلية (عن Singh ١٩٩٣).

هذا .. وتظهر بالسلالات النقية المنتخبة تغـيرات وراثيـة بعـد فـترة مـن انتخابها، ومن أهم مصادر تلك التغيرات، ما يلى:

١ - التهجينات الطبيعية التى قـد تحـدث بنسـبة ضئيلـة بـين مختلـف السـلالات والأصناف التى تزرع متجاورة.

٢ - التحورات الكروموسومية التى تحدث طبيعيًا من آن لآخر.

٣ - الطفرات الطبيعية.

الانتخاب الإجمالى فى النباتات الذاتية التلقيح

تتشابه طريقة الانتخاب الإجمالى Mass Selection فى النباتات الذاتية التلقيح مع طريقة انتخاب السلالة النقية فى المرحلتين الأولى والثانية من برنامج التربية؛ حيث يتم انتخاب عدد كبير من نباتات عشيرة تكثر فيها الاختلافات الوراثية، ثم زراعة نسل كل نبات على حدة لعدة مواسم زراعية؛ لاستبعاد السلالات التى تكون صفاتها غير مرغوبة، كما سبق بيانه فى طريقة انتخاب السلالة النقية. ويلى ذلك .. خلط بذور السلالات النقية ذات الصفات المرغوبة معًا، ومقارنتها بالأصناف التجارية الشائعة فى الزراعة فى تجارب موسعة، تستمر لثلاثة مواسم زراعية، ويقدر فيها المحصول والصفات الاقتصادية الهامة. ويتم فى النهاية .. اعتماد مخلوط السلالات كصنف جديد، إذا ثبت أنه يفوق الأصناف التجارية المعروفة.

يتضح مما تقدم أن طريقة الانتخاب الإجمالى لا تختلف – فى جوهرها – عن طريقة انتخاب السلالة النقية، سوى فى كون الصنف الجديد يتألف فى هذه الطريقة من مجموعة من السلالات النقية الممتازة، بينما يتكون من سلالة نقية واحدة فى طريقة انتخاب السلالة النقية. وتعد هذه الطريقة – كسابقتها – ذات أهمية كبيرة فى تحسين الأصناف البلدية، كما تفيد – أيضًا – فى تحسين الأصناف الجديدة المستوردة إذا كانت بها عيوب ظاهرة.

ويجرى الانتخاب الإجمالى فى النباتات الذاتية التلقيح – عادة – بطريقة أخرى، تتشابه مع تلك التى تتبع مع النباتات الخلطية التلقيح، وذلك بانتخاب عدد كبير من النباتات التى تظهر بها الصفات المرغوبة. وحصادها، ثم خلط بذورها – معًا – وزراعتها فى دورة أخرى من الانتخاب. وتكرر هذه العملية إلى أن يتوقف التحسين مع الانتخاب، ثم تقارن العشيرة المنتخبة مع الأصناف التجارية الشائعة فى الزراعة. وتعتبر هذه الطريقة مناسبة لإجراء تحسين وراثى سريع فى صفات معينة؛ مثل: ارتفاع النبات، وموعد النضج، وحجم البذور، ومقاومة الآفات، والقدرة على تحمل الظروف البيئية القاسية؛ حيث يكفى استئصال النباتات التى لا تحمل الصفات المرغبة، وحصاد البذور من النباتات المتبقية فى الحقل. ويمكن اتباع طرق خاصة تزيد من كفاءة عملية الانتخاب لمثل هذه الصفات؛ مثل: العدوى الصناعية بمسببات

الأمراض، والزراعة فى الأراضى الملحية أو الجيرية ... إلخ، وتقليم النباتات على الارتفاع المرغوب، ثم حصاد العشرة سنتيمترات القمية فقط (كما فى الشوفان)، واستعمال الغرابيل فى انتخاب البذور الكبيرة الحجم (كما فى الفاصوليا وفول الصويا).

وتكون خطوات برنامج التربية بطريقة الانتخاب الإجمالى فى النباتات الذاتية التلقيح - عادة - كما يلى:

١ - السنة الأولى:

ينتخب عدد كبير من النباتات المتشابهة مورفولوجيا فى الصفات الهامة، مثل قوة النمو، وطبيعة النمو، والمقاومة للأمراض وغير ذلك من الصفات المرغوب فيها. وقد يتراوح عدد النباتات المنتخبة من ٣٠٠ إلى ٣٠٠٠، علمًا بأن زيادة عدد النباتات المنتخبة يكون - عادة - على حساب التقدم الذى يمكن حدوثه، بينما يؤدى التقليل كثيرًا من عدد النباتات المنتخبة إلى احتمال فقد القدرة على التأقلم. تخلط البذور المتحصل عليها من النباتات المنتخبة لزراعة الجيل التالى.

٢ - السنة الثانية:

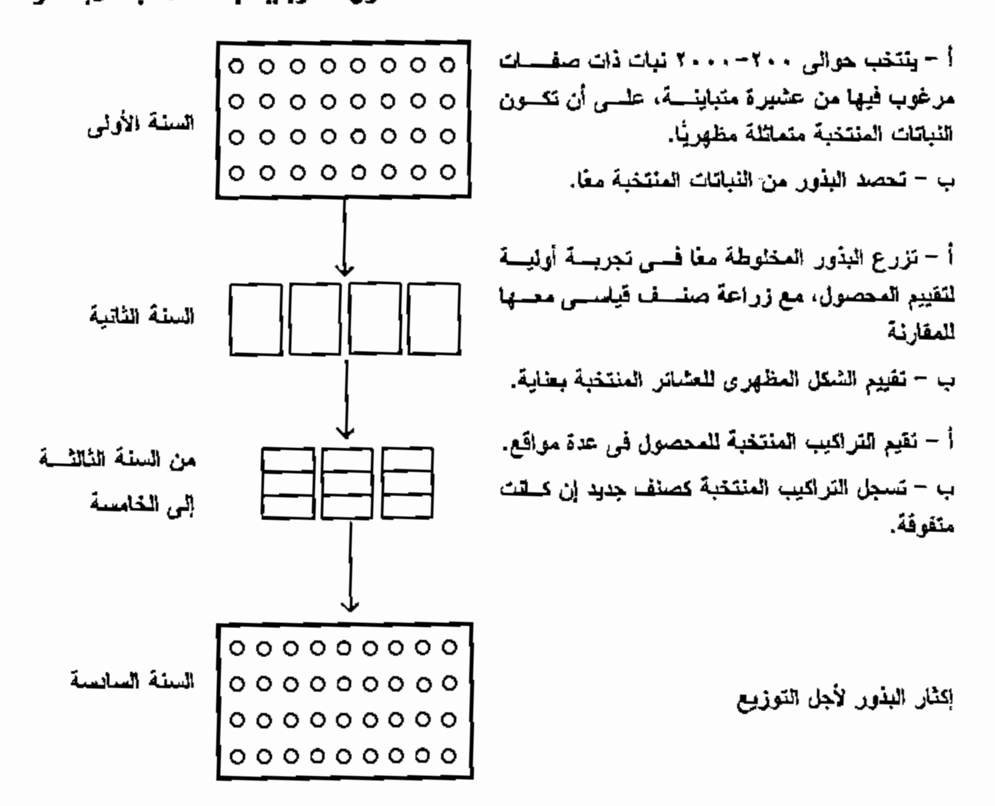
تزرع البذور المخلوطة للنباتات المنتخبة فى تجربة أولية لتقييم المحصول مع مقارنة المخلوط بالأصناف القياسية الشائعة فى الزراعة، بما فى ذلك الصنف الذى أجرى عليه الانتخاب لتحديد ما إذا كان قد حدث فيه أى تقدم بالانتخاب، وتلاحظ بدقة الصفات المورفولوجية للمخلوط المنتخب.

٣ - السنوات الثالثة إلى الخامسة:

يقيم المخلوط المنتخب فى تجارب بمكررات فى عدة واقع تمثل تلك التى يمكن أن تنتشر فيها زراعة الصنف الجديد، مع مقارنته بالأصناف القياسية. وتتدرج تلك التجارب فى الاتساع سنة بعد أخرى حسبما تبين نتائج دراسات الأعوام السابقة، فإذا ما ثبت تفوقه تبدأ عملية الإكثار.

٤ - السنة السادسة:

يبدأ إكثار المخلوط تمهيدًا لنشر زراعته كصنف جديد (شكل ١-١).

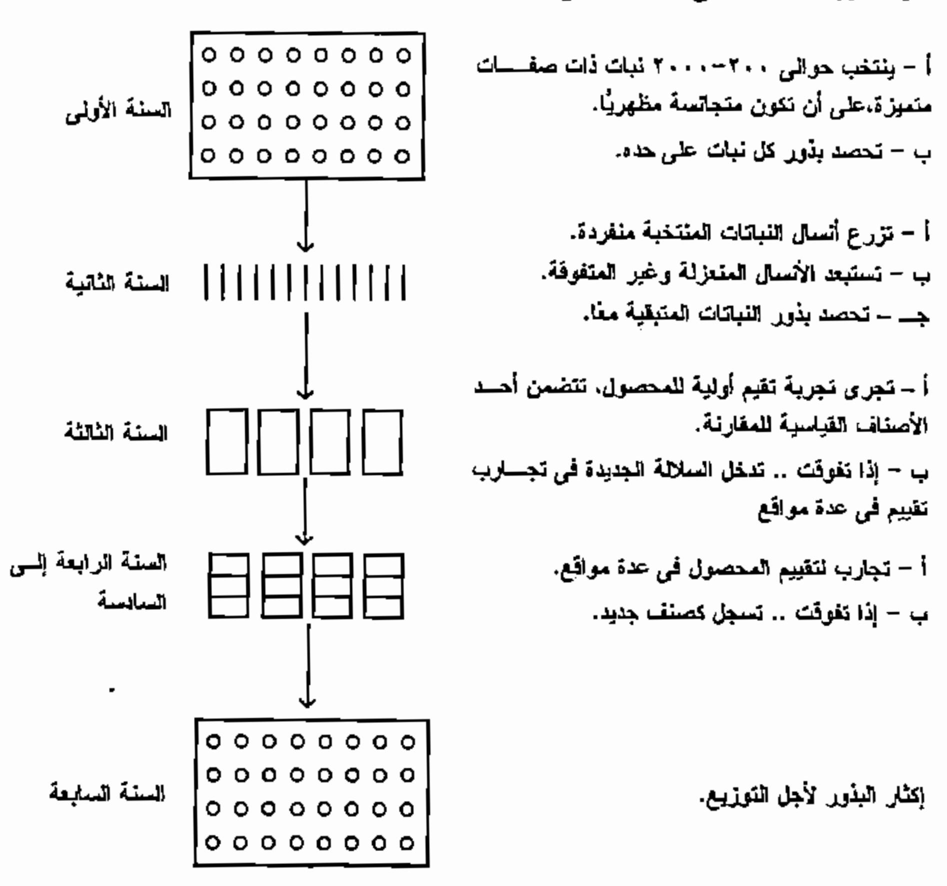


شكل (١-١): التربية بطريقة الانتخاب الإجمالى mass selection، كما تستعمل فى إنتاج الأصناف الجديدة من المحاصيل الذاتية التلقيح. وللمحافظة على نقاوة أصناف السلالات النقية تكرر عمليات السنة الأولى سنويًا، أو كل عدد قليل من السنوات.

هذا .. وقد يجرى اختبار النسل على النباتات المنتخبة ابتداءً، حيث تزرع أنسالها – كل على انفراد – فى العام الثانى للبرنامج، ويتم استبعاد الأنسال الضعيفة، والتى لا يرجى منها فائدة، وتلك التى تظهر فيها انعزالات، على ألاّ تزيد النسبة المستعبدة عن ٢٠-٢٥٪ من الأنسال. ويلى ذلك خلط بذور الأنسال المتبقية لتشكل معًا المخلوط الجديد الذى يخضع لعمليات التقييم المعتادة. وإذا ما كان الهدف من البرنامج هو تحسين صنف محلى، فإن عمليات التقييم لا تستمر لفترة طويلة؛ باعتبار أن الصنف الأصلى معروف ومنتشر فى الزراعة (شكل ١-٢).

كما قد تتبع طريقة الانتخاب الإجمالى فى تنقية الأصناف التى تتكون من سلالات نقية، وفى تلك الحالة يقتصر الانتخاب فى السنة الأولى على نحو ٢٠٠-٣٠٠ نبات

تمثل السـلالات النقية التى يتكون منها الصنف، وتزرع أنسالها مستقلة فى العام الثـانى للبرنامج، ثم تستبعد الأنسـال التى لا تبدو ممثلة لسـلالات الصنـف، ويلـى ذلـك خلـط بذور الأنسال المتبقية معًا لتكون بذور الأسـاس الجديدة لصنف قديم معـروف. ولا يحتـاج الأمر إلى أى تجارب تقييم. ولكن تلك العملية قد تتكرر كل عدة سـنوات للمحافظة علـى نقاوة بذور الأسـاس التى تستعمل فى إكثار الصنف.



شكل (١–٢): التربية بطريقة الانتخاب الإجمالى ف النباتات الذاتية التلقيح، مقرونة باختبار النسـل.

ومن أهم مزايا الانتخاب الإجمالى فى النباتات الذاتية التلقيح، ما يلى:

١ – نظرًا لأنه يتم انتخاب أعـداد كبيرة من النباتـات؛ فـإن تـأقلم الصنـف الأصلـى على الظروف البيئية السـائدة لا يتغير. ومن المعروف أن مخلوطًا من عـدد مـن السـلالات النقية يكون أكثر ثباتًا فى سلوكه – فى مختلف البيئات – عن السلالة النقية الواحـدة؛

ولذا .. فإن الأصناف المنتخبة بطريقة الانتخاب الإجمالى تكون أكثر تأقلمًا عن تلك التى تتكون من سلالات نقية فردية.

٢ – لا يلزم فى كثير من الأحيان إجراء تجارب التقييم لفترات طويلة.

٣ – يُبقى الانتخاب الإجمالى على كثير من الاختلافات الوراثية فى الصنف الجديد؛ وبذا .. يمكن بإجراء دورة جديدة من الانتخاب الإجمالى فى الصنف الجديد بعد عدد من السنوات تحقيق مزيدًا من التحسين.

٤ – لا تتطلب تلك الطريقة وقتًا وجهدًا كبيرين من المربى؛ مما يوفر له الوقت لإجراء برامج تربية أخرى.

ومن أهم عيوب الانتخاب الإجمالى فى النباتات الذاتية التلقيح ما يلى:

١ – لا تكون الأصناف المنتخبة بطريقة الانتخاب الإجمالى على ذات الدرجة من التجانس كتلك التى تظهر فى السلالات النقية.

٢ – يكون التحسين فى تلك الأصناف أقل – بصورة عامة – من ذلك الذى يحدث عند انتخاب السلالات النقية؛ وذلك لأن بعض مكونات الصنف الناتج بطريقة الانتخاب الإجمالى (بعض السلالات النقية) أقل فى جودتها من أفضل السلالات التى يمكن انتخابها منفردة.

٣ – يكون من المستحيل فى غياب اختبار النسل التعرف على ما إذا كانت السلالات المنتخبة أصيلة أم خليطة. وحتى الأنواع الذاتية التلقيح، فإنه تحدث بها – غالبًا – نسبة بسيطة من التلقيح الخلطى؛ الأمر الذى يعنى أن بعض النباتات المنتخبة قد تكون خليطة وراثيًّا. كذلك لا يعرف ما إذا كان سبب التفوق المظهرى المشاهد للنباتات المنتخبة يرجع إلى تركيبها الوراثى، أم إلى الظروف البيئية. ويتم التغلب على العيوب التى وردت أعلاه باختبار النسل.

٤ – نظرًا لكون السلالات النقية أكثر قبولاً، فإن طريقة الانتخاب الإجمالى ليست شائعة الاستعمال فى تحسين النباتات الذاتية التلقيح.

٥ – صعوبة تحديد هوية الأصناف المنتجة بطريقة الانتخاب الإجمالى عند تسجيل الأصناف، مقارنة بالسلالات النقية.

٦ – يعتمد مدى التحسين المكن فى الصنف الجديد على مدى توفر التباينات

الوراثية فى الصنف القديم؛ ذلك لأن هذه الطريقة لا تُحدث تباينات جديدة (عن Singh ١٩٩٣).

الانتخاب الإجمالى فى النباتات الخلطية التلقيح

اتبعت طريقة الانتخاب الإجمالى فى تحسين كثير من المحاصيل الخلطية التلقيح، خلال النصف الأول من القرن العشرين، ومازالت مستعملة فى بعض المحاصيل. ورغم اختلاف تفاصيل هذه الطريقة فى النباتات الخلطية التلقيح عما سبق بيانه بالنسبة للنباتات الذاتية التلقيح .. إلا أن مضمونها واحد فى كل منهما؛ إذ يكون الهدف هو تحديد التراكيب الوراثية المرغوبة، وخلطها – معًا – لتكون أساسًا للصنف الجديد.

يبدأ برنامج التربية بانتخاب عدد كبير من النباتات التى تبدو صفاتها جيدة، من عشيرة تكثر فيها الاختلافات الوراثية، ويكون الانتخاب على أساس الشكل الظاهرى. يتبع ذلك .. خلط البذور الناتجة من النباتات المنتخبة – معًا – ثم زراعتها فى الموسم التالى؛ لإجراء دورة أخرى من الانتخاب، وهكذا .. تستمر دورات الانتخاب إلى أن يتحقق التحسين المطلوب، أو إلى أن يصبح الانتخاب غير مُجْدٍ. ويستغرق إنتاج الصنف الجديد بهذه الطريقة نحو ثمانى سنوات.

وتكون هذه الطريقة أكثر فاعلية، ويكون الانتخاب أكثر جدوى لو أمكن الانتخاب للصفات المرغوبة قبل الإزهار؛ حيث يمكن – حينئذ – إزالة النباتات غير المرغوبة من العشيرة، وترك النباتات المرغوبة فقط؛ ليحدث التلقيح فيما بينها. أما إن لم يمكن الانتخاب للصفات المرغوبة إلا بعد حدوث التلقيح – كما فى جميع الصفات التى تعتمد على الثمار العاقدة، التى منها صفة المحصول فى النباتات الثمرية – فإن النباتات التى تُنتخب تكون قد لقِّحت بنباتات أخرى، قد تكون ذات صفات مرغوبة، أو غير مرغوبة؛ أى إن نصف الجينات التى توجد فى النباتات المنتخبة تكون قد حصلت عليها من آباء غير معلومة، وهو ما يؤدى إلى بطء التحسن الوراثى. هذا .. ويمكن بالنسبة للنباتات ذات الحولين – كبنجر السكر – والمعمرة إجراء التقييم والانتخاب فى موسم نمو، وإنتاج البذور فى الموسم التالى.

وتبعًا لتوازن هاردى–فينبرج، فإنه يمكن التخلص من الآليلات السائدة غير المرغوبة

كلية فى جيل واحد من الانتخاب، بينما تبقى الآليلات المتنحية غير المرغوب فيها مستترة فى الحالة الخليطة. ويكون التقدم الحادث بالانتخاب أعلى بكثير عندما تكون نسبة الآليل المتنحى غير المرغوب فيه مرتفعة فى عشيرة الأساس عما لو كانت نسبته منخفضة.

ومن أهم مزايا الانتخاب الإجمالى فى النباتات الخلطية التلقيح، ما يلى:

١ - تفيد طريقة الانتخاب الإجمالى فى النباتات الخلطية التلقيح فى إنتاج أصناف جديدة من السلالات البرية، وفى تحسين الأصناف البلدية، ومخاليط الأصناف، والأصناف المستوردة التى توجد بها عيوب ظاهرة، وفى المحافظة على نقاوة الأصناف التى لا تلقى عناية خاصة عند إنتاج بذورها.

٢ - تعد أسهل طرق التربية وأسرعها؛ لأنها لا تحتاج إلى تلقيحات متُحكَّم فيها لإنتاج الصنف، ولعدم الحاجة إلى إجراء اختبارات خاصة للصنف المنتج.

٣ - تعد هى الطريقة الوحيدة المكنة لتحسين الأصناف البلدية والسلالات البرية من المحاصيل الخطية التلقيح.

٤ - أعطت هذه الطريقة نتائج جيدة بالنسبة للصفات ذات درجات التوريث المرتفعة، والصفات التى يمكن التعرف عليها بسهولة؛ فهى قد اتبعت بنجاح فى إنتاج أصناف جديدة من الذرة، تختلف فى لون الحبوب، وحجم الكوز، وموقعه على الساق، وموعد النضج، ونسبة الزيت والبروتين فى الحبوب.

ولكن يُعاب على الانتخاب الإجمالى فى النباتات الخلطية التلقيح، ما يلى:

تعتبر طريقة الانتخاب الإجمالى بطيئة، عندما يرغب فى تحسين المحصول، والصفات الكمية فى النباتات الخلطية التلقيح، ويرجع ذلك إلى الأسباب التالية:

١ - عدم القدرة على تمييز التراكيب الوراثية الجيدة على أساس الشكل المظهرى فقط؛ نظرًا لتأثر الصفات الكمِّية بشدة بالعوامل البيئية.

٢ - حصول النباتات المنتخبة على حبوب لقاح من نباتات غير منتخبة؛ بسبب التلقيح الخلطى المفتوح.

٣ - يؤدى الانتخاب الشديد إلى صغر حجم العشيرة؛ مما يُحْدِث نوعًا من التربية الداخلية، ويتسبب - بالتالى - فى ضعف قوة نمو النباتات.

٤ – تبقى – دائمًا – نسبة من الجينات المتنحية غير المرغوب فيها فى العشيرة مستترة فى التراكيب الوراثية الخليطة.

العوامل المؤثرة فى درجة الاستجابة للانتخاب

تتأثر درجة الاستجابة للانتخاب بالعوامل التالية:

١ – مدى توفر الاختلافات الوراثية فى العشيرة الأصلية:

يكون أثر الانتخاب واضحًا فى السلالات البرية، والأصناف البلدية التى تكثر فيها الاختلافات الوراثية، ولكن يقل التحسن الوراثى بعد بضع دورات انتخابية، نتيجة لثبات الصفات. ويعمل الانتخاب فى هذه الحالة على الاختلافات الوراثية الحرة Free Variability، التى تتوفر فى العشيرة.

٢ – مدى توفر الاختلافات الوراثية الكامنة:

يعُنَى بالاختلافات الكامنة Potential Variability تلك التى يمكن أن تظهر فى أى وقت، بعد حدوث عبور فى مناطق معينة من الكروموسومات؛ مما يؤدى إلى ظهور انعزالات وراثية جديدة هى التراكيب العبورية، ولذلك أهمية كبيرة فى تحسين الصفات الكمية، التى يتحكم فى وراثتها عدد كبير من العوامل الوراثية؛ حيث يحدث – عادة – تقدم سريع فى الانتخاب بعد كل حالة عبور.

٣ – درجة توريث الصفات:

تزداد سرعة الاستجابة للانتخاب بزيادة درجة توريث الصفات المنتخبة.

٤ – درجة التربية الداخلية:

يؤدى الانتخاب الشديد للصفات إلى اختيار عدد قليل من النباتات الى تتوفر فيها الصفات المرغوبة لتكوين الجيل التالى، وهو ما يؤدى إلى حدوث نوع من التربية الداخلية، التى يكون لها أثر سلبى على قوة النمو. وكذلك يُحدثُ الانتخاب الشديد تغيرًا فى الهيكل الوراثى للعشيرة genetic drift، يكون مُصَاحَبًا بتغير فى نسب الاليلات المختلفة بها؛ مما يؤثر على صفاتها العامة المميزة؛ ويكون لذلك كله انعكاساته السلبية على درجة الاستجابة للانتخاب.

بعض التعديلات المدخلة على طريقة الانتخاب الإجمالي

تجرى بعض التعديلات على طريقة الانتخاب الإجمالي؛ بغرض زيادة كفاءتها في تحسين النباتات الخطية التلقيح، ومن هذه التعديلات ما يلي:

١ – اختبار النسل:

يُجرى اختبار النسل Progeny Testing بتقييم ١٠–١٥ نباتًا من نسل كل نبات منتخب. ويفيد اختبار النسل في التأكد من أن النباتات المتميزة المنتخبة تورث صفاتها المرغوبة للنسل. ولهذا الاختبار أهمية خاصة بالنسبة للصفات الكمية والصفات ذات درجات التوريث المنخفضة، كما يفيد في التأكد من جودة نسل النباتات التي انتخبت بعد الإزهار، ولقحت بنباتات غير منتخبة. ويفضل – دائمًا – إجراء اختبار النسل في مكررات.

وتنتج الأنسال لاختبارها بإحدى الطرق التالية:

(أ) بحصاد بذور النباتات المنتخبة التي تركت للتلقيح الخلطي المفتوح.

(ب) بحصاد بذور النباتات المنتخبة بعد تلقيحها ذاتيًا.

(جـ) بحصاد بذور التلقيح القمي top cross بين كل من النباتات المنتخبة – التي تستعمل كأب – وصنف تجاري ناجح يستعمل كأم، ويعرف باسم الصنف الاختباري Tester Variety. كما يلقح – أيضًا – كل نبات منتخب ذاتيًا، وتحصد هذه البذور كذلك. وبناء على نتيجة تقييم التلقيح القمي .. يتم تحديد النباتات ذات الصفات المرغوبة، وهي التي تخلط بذورها الناتجة من التلقيح الذاتي معًا؛ لبدء دورة جديدة من الانتخاب.

٢ – خلط السلالات المرباة داخليًا:

تربى بعض السلالات بالتلقيح الذاتي لعدة أجيال، ثم تخلط بذور السلالات المنتخبة معًا؛ لتكون أساسًا للصنف الجديد، وتعرف هذه الطريقة باسم line breeding، وهي تفيد في التخلص من بعض الآليلات المتنحية غير المرغوبة، ولكنها نادرًا ما تتبع في تحسين النباتات الخلطية التلقيح لما يصاحبها من نقص في قوة النمو بسبب التربية الداخلية؛ الأمر الذي يجعل من الصعب تقييم السلالات التي يُراد إدخالها في الصنف الجديد. هذا .. فضلاً عن أن هذه الطريقة تشجع على ظهور سلالات تزداد فيها نسبة

التلقيح الذاتي. بينما يكون من المرغوب فيه زيادة نسبة التلقيح الخلطي بين السلالات التي تشكل الصنف الجديد، للحصول على أكبر قدر من قوة الهجين. ويفضل – عند اتباع هذه الطريقة – أن يكون عدد السلالات التي تدخل في تكوين الصنف الجديد كبيرًا؛ حتى لا تكون قريبة من بعضها البعض، ولزيادة فرصة ظهور قوة الهجين في الصنف الجديد.

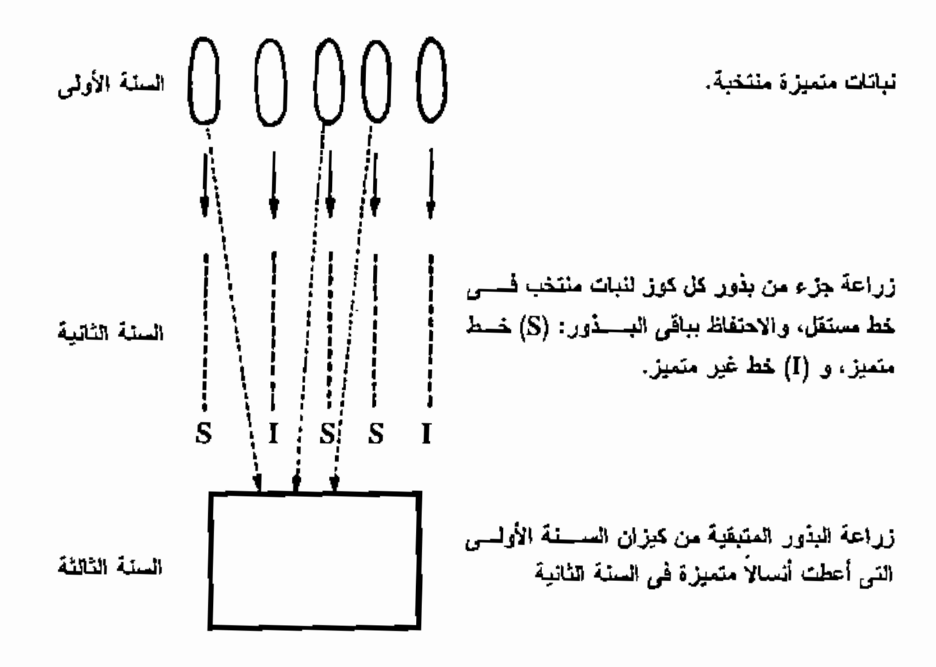
٣ – الانتخاب الإجمالي المبني على تمثيل كافة الظروف البيئية

يعرف الانتخاب الإجمالي المبني على تمثيل كافة الظروف البيئية في الحقل باسم Stratified Mass Selection. ويجرى بتقسيم الحقل الذي تجرى فيه عملية الانتخاب إلى عدة أقسام متساوية، ثم ينتخب من كل منها عدد متساو من النباتات، وهي التي تحصد بذورها وتخلط معًا؛ لبدء دورة جديدة من الانتخاب. وتفيد هذه الطريقة في تقليل تأثير البيئة إلى أدنى مستوى ممكن؛ نظرًا لأنها تضمن تمثيل كل الظروف البيئية في منطقة الدراسة.

٤ – طريقة الكوز للخط ear-to-row method:

تعرف طريقة تقييم نسل النباتات المنتخبة التي تُركت للتلقيح الخلطي الطبيعي (شكل ١–٣) عند تطبيقها على الذرة باسم طريقة الكوز للخط. وقد أدخلت حذه الطريقة بواسطة G. G. Hopkins في عام ١٨٩٧، وفيها تحصد الكيزان الممتازة من النباتات التي تعرضت للتلقيح الخلطي العشوائي، ويزرع في العام التالي جزء من بذور كل كوز في خط مستقل، بينما يحتفظ ببقية البذور. وبعد أن ينتهي التقييم .. تخلط البذور المتبقية من الكيزان التي ظهر تفوقها معًا؛ لبدء دورة جديدة من الانتخاب في الموسم التالي. وبذا .. فإن كل دورة انتخاب تستمر موسمين زراعيين.

وقد أفادت هذه الطريقة في تحسين الذرة في محتواه من الدهون والبروتين في سنوات قليلة، واستمر التحسين مع استمرار الانتخاب. ولكن النتائج كانت مخيبة للآمال بالنسبة للمحصول؛ ويرجع السبب في ذلك إلى أنها لا تفيد في تقييم التركيب الوراثي للنباتات المنتخبة بصورة جيدة (حيث لا يُقيِّم كل نسل سوى في خط واحد في منطقة واحدة). فضلاً على أن النباتات المنتخبة (التي تقيم أنسالها) .. تتلقى دائمًا حبوب لقاح من نباتات غير منتخبة.



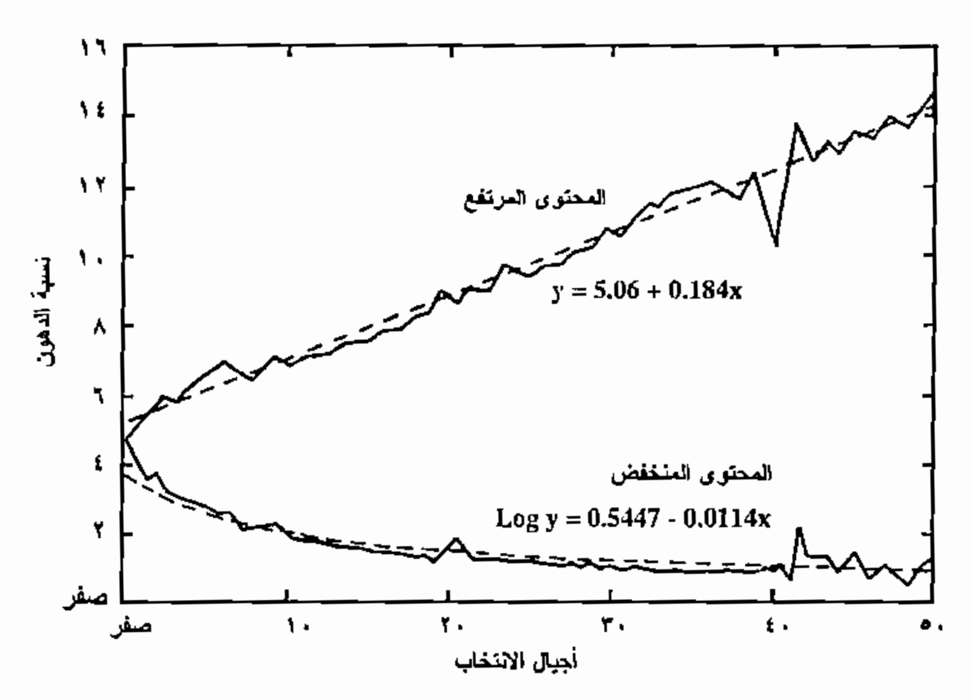
شكل (١-٣): طريقة الكوز للخط لتربية الذرة.

تحسين نسبتا الدهون والبروتين فى الذرة بطريقة الانتخاب الإجمالى

يعد برنامج تحسين نسبتا الدهون والبروتين فى حبوب الذرة – بالانتخاب الإجمالى – من الدراسات الكلاسيكية فى تربية النبات. وقد بدأ الانتخاب فى الصنف المفتوح التلقيح برزهوايت Burr's White فى جامعة إلينوى بالولايات المتحدة الأمريكية فى عام ١٨٩٦، واستمر لأكثر من ٧٠ جيلاً. وكان الهدف هو إنتاج أربع سلالات من الذرة مرتفعة – أو منخفضة – فى نسبة كل من الدهون والبروتين فى الحبوب. واتبعت طريقة الكوز للخط خلال الأجيال الثمانية والعشرين الأولى منها. أما بعد ذلك .. فكان يؤخذ ٦٠ كوز من كل من السلالات الأربع للتقييم، ثم تخلط معًا حبوب أكثر ١٢ كوزًا من كل سلالة إظهارًا للصفة المنتخبة.

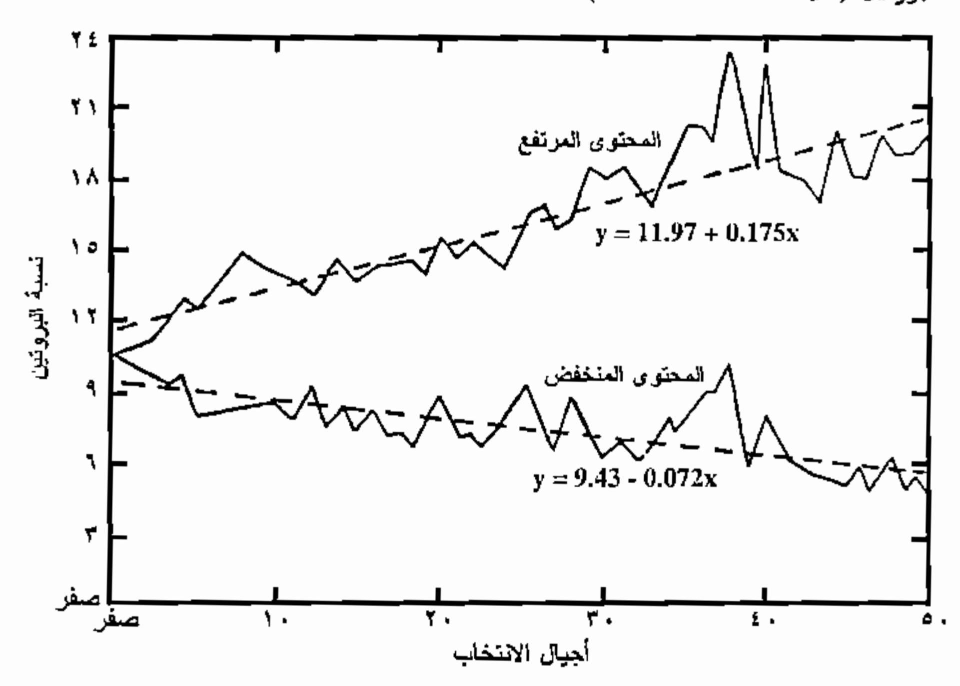
وقد أعطى الانتخاب لنسبة البروتين المرتفعة تحسنًا مستمرًا، حيث ارتفعت النسبة

من ١٠,٩٪ فى عشيرة الأساس إلى ١٣,٧٪، و ١٦,١٪، و ١٩,٣٪، و ٢٦,٦٪ فى الأجيال: الخامس، والعشرين، والخمسين، والسبعين على التوالى. وبالمقارنة .. فقد استمرت الاستجابة كذلك للانتخاب لنسبة البروتين المنخفضة؛ حيث انخفضت النسبة إلى ٩,٦٪، و ٧,٣٪، و ٤,٩٪، و ٤,٤٪ فى نفس الأجيال السابقة الذكر على التوالى. كذلك ارتفعت نسبة الدهون بانتظام من ٤,٧٪ إلى أن وصلت إلى أكثر من ١٥٪، بينما توقفت الاستجابة للانتخاب للمستوى المنخفض من الدهون عند حوالى ١٪ بعد ثلاثين عامًا من الانتخاب (شكلا ١-٤، و ١-٥). وفضلاً على ذلك .. فإن الانتخاب فى الاتجاه العكسى - لصفة نسبة البروتين أو الدهون بعد ٥٠ جيلاً من الانتخاب فى اتجاه ما - أحدث تغيرًا كبيرًا وسريعًا فى الصفة. حدث ذلك فى السلالات الأربع (العالية والمنخفضة من حيث نسبة البروتين أو الدهون)؛ مما يدل على أن العشيرة الأصلية كانت تحتوى على اختلافات وراثية أكثر مما كان متوقعًا.



شكل (١-٤): تأثير خمسون جيلاً من الانتخاب على نسبة الدهون فى حبوب الذرة. يمثل الخط المتصل النتائج الحقيقية، بينما يمثل الخط المتقطع القيم المتوقعة على أساس معادلات الارتباط المبينة (عن Allard ١٩٦٤).

ولسوء الحظ .. فإن سلالة الذرة المرتفعة فى نسبة البروتين كان غناها بالبروتين مرده إلى ارتفاع محتواها من البرولامينات prolamines (أو الزيين zein) وهى بروتينات فقيرة بالحامضين الأمينيين الضروريين ليسين lysine، وتربتوفان tryptophan؛ لذا .. فإن هذه السلالة لم تستعمل فى أى برنامج للتربية لتحسين نسبة البروتين فى الذرة. وقد كان محصول هذه السلالة منخفضًا، حيث لم يزدْ على نحو ثلث متوسط محصول الذرة بولاية إلينوى. ويبدو أن ذلك كان مرده إلى وجود علاقة سالبة بين المحصول ونسبة البروتين (عن Alexander ١٩٧٥).



شكل (١–٥): تأثير خمسون جيلاً من الانتخاب على نسبة البروتين فى حبوب الذرة. يمثل الخط المتصل النتائج الحقيقية، بينما يمثل الخط المتقطع القيم المتوقعة على أساس معادلات الارتباط المبينة.

طرز الاستجابة للانتخاب

يذكر Allard (١٩٦٤) خمسة طرز للاستجابة للانتخاب فى طريقة الانتخاب الإجمالى فى النباتات الخلطية التلقيح، يمكن إيجازها فيما يلى:

الطراز الأول .. يحدث فيه تقدم سريع مع الانتخاب، يليه بطء واضح. يحدث ذلك في حالات الانتخاب لصفات خاصة، مثل طول النبات، واللون، والمقاومة لبعض الأمراض، وهي صفات يتحكم فيها جينات رئيسية major، ذات تأثير كبير على الصفة، وأخرى ثانوية minor ذات تأثير ضعيف. ويرجع التقدم السريع – في البداية – إلى انتخاب الجينات الرئيسية، بينما يحدث التقدم البطئ الذى يعقب ذلك نتيجة لانتخاب الجينات الثانوية.

الطراز الثانى .. تحدث فيه استجابة بطيئة ومستمرة للانتخاب؛ ويحدث ذلك في حالات الانتخاب للصفات التى يتحكم فيها عدد كبير من الجينات التى تتركز ببطء – وبصفة تدريجية – مع استمرار الانتخاب، ومن أمثلتها .. صفات المحتوى المرتفع – أو المنخفض – من البروتين، والمستوى المرتفع من الدهون فى الذرة.

الطراز الثالث .. تحدث فيه استجابة بطيئة ومستمرة لفترة، ثم تتوقف بعدها الاستجابة للانتخاب كلية. حدث ذلك فى حالة الانتخاب لصفة المحتوى المنخفض من الدهون فى الذرة؛ حيث استمر الانخفاض البطئ فى نسبة الدهون لنحو ٣٠ جيلاً، ثم توقف بعد ذلك. ورغم أن هذه الصفة يتحكم فيها آليلات أخرى من نفس الجينات التى تتحكم فى صفة المحتوى المرتفع من الدهون .. إلا أن الانخفاض فى نسبة الدهون كان مَصَاحَبًا بنقص مستمر فى حجم جنين الحبة، واستمر الانخفاض فى نسبة الدهون إلى أن أصبح الجنين صغيرًا للغاية، الأمر الذى أدى إلى ظهور عقبة فسيولوجية أمام الانتخاب رغم استمرار توفر الاختلافات الوراثية لتلك الصفة.

الطراز الرابع .. لا تحدث فيه أية استجابة للانتخاب. يحدث ذلك عند محاولة تحسين الصفات ذات درجات التوريث المنخفضة؛ مثل صفة المحصول بطريقة الكوز للخط؛ لأن مثل هذه الصفات تتطلب إجراء اختبار النسل الناتج من التلقيح الذاتى، بينما يستحيل ذلك بطريقة الكوز للخط.

الطرز الخامس .. تحدث فيه استجابة سريعة، ثم تتوقف الاستجابة، ثم تتكرر مرحلتا الاستجابة السريعة والتوقف مرة أخرى. يحدث ذلك فى الحالات التى توجد فيها اختلافات كامنة، لا تظهر إلا بعد حدوث عبور مناسب، يؤدى إلى ظهور تراكيب وراثية جديدة، تفيد فى عملية الانتخاب.

الفصل الثانى

مبادئ التربية بالتهجين والانتخاب

يعنى بالتربية عن طريق التهجين والانتخاب كل طرق التربية التى تعتمد على التهجين بين تراكيب وراثية معينة، ثم الانتخاب فى الأجيال الانعزالية. وقد يجرى التهجين مرة واحدة فى بداية برنامج التربية كما فى طريقتى انتخاب النَّسَبْ وانتخاب التجميع، أو قد يتكرر عدة مرات خلال برنامج التربية كما فى طريقة الانتخاب المتكرر.

اختيار الآباء وإجراء التلقيحات

يكون الهدف الأساسى من إجراء التهجين الأولى فى برامج التربية بالتهجين والانتخاب هو محاولة جمع صفات مرغوب فيها - من أصناف أو سلالات مختلفة - فى تركيب وراثى جديد، يكون أساسًا للصنف الجديد الذى يُراد إنتاجه. هذا .. إلاّ أن اعتماد برنامج للتربية - يمكن أن يستمر لعشر سنوات أو أكثر - على تهجين واحد بين صنفين اثنين قد لا يكون أمرًا عمليًا، حيث قد لا يفرز البرنامج الانعزالات الوراثية المرغوب فيها.

ولذا .. كان الاتجاه نحو تضمين التلقيح الأوْلى أعدادًا كبيرة من الآباء بإحدى طريقتين، كما يلى:

١ - إجراء عديد من التلقيحات الفردية بين آباء متنوعة:

من بين الوسائل التى اتبعت مع طرق تربية المحاصيل الذاتية التلقيح من أجل زيادة فرصة الحصول على انعزالات وراثية تحتوى على الجينات المرغوب فيها إجراء عدد كبير من التلقيحات بين عديد من الآباء. ويلزم فى هذه الحالة زراعة عدد كبير من نباتات العشائر الانعزالية لزيادة فرصة ظهور التركيب الوراثى المرغوب فيه. ولكن نظرًا لأن موارد المربى تكون دائمًا محدودة .. فإن على المربى - عادة - أن يختار بين

زراعة أعداد متوسطة من نباتات عدد كبير من التلقيحـات، وبـين زراعـة عشـائر كبـيرة لعدد متوسـط من التلقيحات، ويكون الاختيار الأول هو المفضل غالبًا.

٢ - إجراء تهجين ثلاثى:

فى محاولة للتوصل إلى أفضل طريقة لتهجين ثلاث سلالات (هـى: A، و B، و C) تحتوى كل منها على جين واحد سائد مرغوب فيه يراد تجميعها فـى صنـف جديـد .. قارن Bos (١٩٨٧) - فى مثال نظرى - بين كفاءة ثلاث طرق للتهجين - وهـى المبينـة فى شكل (٢-١) - لأجل التوصل إلى الـتركيب الوراثـى الأصيـل السـائد فـى الجينـات الثلاثة المرغوب فيها فـى حـالات: الانتخـاب أو عـدم الانتخـاب فـى الجيـل الثـانى، والتلقيح الذاتى فى الجيل الثانى وفى الأجيال التالية، أو التزاوج العشوائى فـى الجيـل الثانى ثم التلقيح الذاتى فى الأجيال التالية:

طريقة التهجين	الأولى	الثانية	الثالثة
الموسم الأول	A×B	A×C B×C	A×B A×C B×C B×A C×A C×B
	↓	↓ ↓	↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓
الموسم الثانى	AB×C	AC × BC	AB×AC BC×AB AC×BC
	↓	↓	↓ ↓ ↓
	F1	F1	F1

شكل (٢-١): الطرق الممكنة لإنتاج الجيل الأول الناتج من تهجين ثلاث سلالات معًا لبدء برنـامج تربية بالتهجين والانتخاب.

وقد توصل Bos إلى أن طرق التهجين الثلاث تتطلب جهدًا واحدًا لإنتاج كمية البذور اللازمة فى الجيل الأول (يراجع شكل ٢-١)، وأنها تعطـى نسـبة واحـدة هـى ١/٣٢ (أو ٠,٠٣١٣) من النباتات ذات التركيب الوراثى الأصيل السـائد المرغـوب فيـه فـى غيـاب الانتخاب والتزاوج العشوائى بين نباتات الجيل الثانى. أما فى حالـة غيـاب الانتخـاب مع وجود التزاوج العشوائى .. فإن طريقة التهجين الثالثة تعطـى نباتـات مـن الـتركيب الوراثى المرغوب فيه بنسـبة تزيد بمقدار ٨,٣٪ على الطريقتين الأولى، والثانية للتـهجين. وفى وجود الانتخاب مع غياب الـتزاوج العشـوائى بـين نباتـات الجيـل الثـانى .. فـإن طريقتى التهجين الثانية، والثالثة تزيدان على طريقـة التـهجين الأولى بمقـدار ٢٠٪ فـى إعطاء التركيب الوراثى المرغوب فيه فى الأجيال التالية للجيـل الثانى. وأخـيرًا .. فإنـه

فى وجود كل من الانتخاب والتزاوج العشوائى .. تزيد طريقة التهجين الثانية على الأولى بمقدار ٢١٪؛ وتفوق طريقة التهجين الثالثة الأولى بمقدار ٢١٪؛ أى تفضل طريقتا التهجين الثانية والثالثة فى حالة الانتخاب أو التزاوج العشوائى فى الجيل الثانى، أو فى حالة وجودهما معًا.

٣ – إجراء تلقيح مركب متعدد:

يُنتج التلقيح المتعدد multiple cross – الذى يسمى أيضًا convergent cross – بتلقيح أزواج من الآباء، ثم تلقيح أزواج من هجين الجيل الأول .. وهكذا إلى أن تدخل كل الآباء فى نسل واحد، كما يلى:

$$
\begin{array}{cccc}
A \times B & C \times D & E \times F & G \times H \\
\downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\
AB & \times\ CD & EF & \times\ GH \\
& \downarrow & & \downarrow \\
& ABCD & \times & EFGH \\
& & \downarrow & \\
& & ABCDEFGH &
\end{array}
$$

وبتلك الطريقة يحتمل تواجد عديد من التراكيب الوراثية المرغوب فيها، ولكن يقابل ذلك احتمال ظهور عديد من التراكيب الوراثية غير المرغوب فيها، ولذا .. يتطلب الأمر زراعة أعداد كبيرة جدًا من الهجن الرباعية وهجن المستويات الأعلى لإعطاء الفرصة للتراكيب الوراثية المرغوب فيها لأن تمثل فى تلك العشائر.

الاختبار المبكر للأجيال الانعزالية

يفيد الاختبار المبكر early testing فى تقييم مدى جودة التلقيحات والنباتات المنتخبة منها فى الأجيال الأولى من برنامج التربية، فلا تُستهلك طاقة المربى وموارده دونما ضرورة. وبهذه الطريقة يمكن التخلص سريعًا من الانعزالات – أو حتى التلقيحات الكاملة – التى لا تُرجى منها فائدة، ويستبقى فقط على التراكيب الوراثية المتميزة لحين وصولها إلى الأصالة الوراثية. كذلك فإن الانعزالات المتميزة التى يمكن التعرف عليها فى الأجيال المبكرة يمكن استعمالها – فى الحال – كآباء فى تلقيحات جديدة دونما انتظار لتأصيلها وراثيًا، وبذا .. تقل مدة دورة كل تلقيح جديد.

تقييم النباتات المفردة

يكون تقييم النباتات على أساس فردى عندما تختلـف فـى تركيبـها الوراثـى، مثلمـا يكون عليه الحال فى عشائر الجيل الثانى. وفى تلك الحالات لا يتكرر التركيب الوراثى الواحد إلاّ إذا أمكن إكثاره خضريًا.

وتقييم النباتات المفردة بإحدى طريقتين، كما يلى:

التصميم الشبكى

يتم فى التصميم الشبكى للتقييم grid design تقسيم الأرض التى تقيم فيـها النباتـات الفرديـة إلى بلوكـات شـبكية grids ذات مسـاحة محـددة (شـكل ٢-٢)، وتتـم مقارنـــة النباتات داخل كل grid مع بعضها البعض وتنتخب المتميزة منها، ولا تقارن نباتات الـ grids المختلفة معًا.

ومن أهم مميزات النظام الشبكى، ما يلى:

١ – لا يتطلب زراعة النباتات بنظام معين كما فى نظام قرص العسل.

٢ – يمكن التحكم فى شدة الانتخاب بالتحكم فى عدد النباتـات فـى الـ grid وفـى عدد النباتات المنتخبة من كل منها.

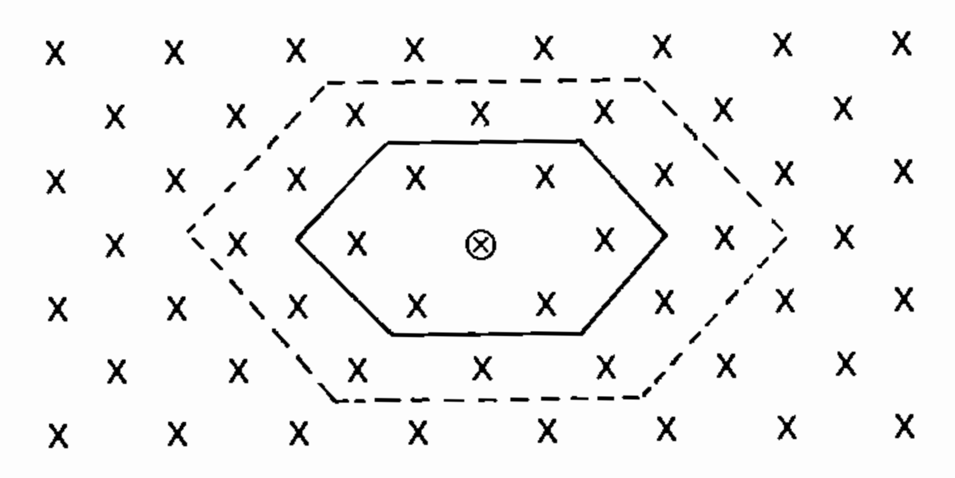
٣ – يفيد استعمال مساحة محددة لكل لوط فـى إجـراء المقارنـات بالمشـاهدة العينيـة لأجل الانتخاب.

X X | X X | X X | X X
X X | X X | X X | X X
X X | X X | X X | X X
X X | X X | X X | X X
X X | X X | X X | X X
X X | X X | X X | X X
X X | X X | X X | X X

شكل (٢-٢): التصميم الشبكى لتقيـم النباتات الفردية.

تصميم قرص العسل

يستخدم تصميم "قرص العسل" honeycomb design فى التقييم بمكررات للنباتات الفردية فى السلالات والأصناف، وفيه يتماثل عدد النباتات المقيمة فى السلالة مع عدد المكررات فى التجربة. وتنظم لوطات السلالات فى الاختبار بنظام يسمح بمقارنة نبات من إحدى السلالات مع النباتات المجاورة من السلالات الأخرى (شكل ٢-٣)، إلا أن هذا النظام لم يشع استخدامه من قبل مربى النبات لتطلبه عمالة كثيرة، ولعدم إمكان ميكنة زراعته بسهولة.



شكل (٢-٣): تصميم قرص العسل لتقييم النباتات الفردية. تزداد شدة الانتخاب بزيادة مساحة الشكل السداسى الذى يوجد النبات المقيم فى مركزه. يراجع المتن للتفاصيل.

ومن أهم خصائص تصميم قرص العسل، ما يلى:

١ – تزرع النباتات على مسافات متساوية من بعضها البعض فى أركان شكل سداسى hexagon.

٢ – تكون زراعة النباتات على مسافات أوسع من مسافة الزراعة العادية لتجنب حدوث أى تنافس بينها.

٣ – يمكن زراعة أصناف متجانسة معها للمقارنة.

٤ – تتحدد شدة الانتخاب التى تمارس فى العشيرة بمساحة الشكل السداسى المستخدم فى انتخاب النباتات الفردية.

٥ – يقيم كل نبات فى العشيرة بوضعه فى مركز شـكل سداسـى، ويتـم انتخابـه إذا كان متفوقًا على جميع النباتات الأخرى فى الشكل. وبتحريك الشـكل السداسـى يمكـن تقييم كل نبات مع مجموعة أخرى من نباتات العشيرة.

ويتميز نظام قرص العسل بما يلى:

١ – إذا ما زرع ١/٧ الحقل بصنف قياســى فإنـه يمكـن توزيعـها بحيـث يصبـح فـى الإمكان مقارنة أى نبات فى الحقل بهذا الصنف القياسى.

٢ – يمكن بسـهولة إدخال صنفين قياسيين أو أكثر فى النظام للمقارنــة. ولكـن ذلـك الإجراء يتطلب تخصيص مساحة أكبر مــن الحقـل التجريبـى للأصنـاف القياسـية (عـن Fehr ١٩٨٧).

الأسس التى تبنى عليها عملية الانتخاب

تبنى عملية الانتخاب على أسس معينة، كما يلى:

الانتخاب المبنى على سلوك الجيل الأول للتلقيح الذاتى

يمكن استخدام نباتات الجيل الأول للتلقيـح الذاتـى S_1 plants فـى تقييـم النباتـات المنتخبة من عشيرة مفتوحة التلقيح، ويعنى بالـ S_1 نسل تلك النباتات المنتخبة.

وتكون خطوات برنامج التربية، كما يلى:

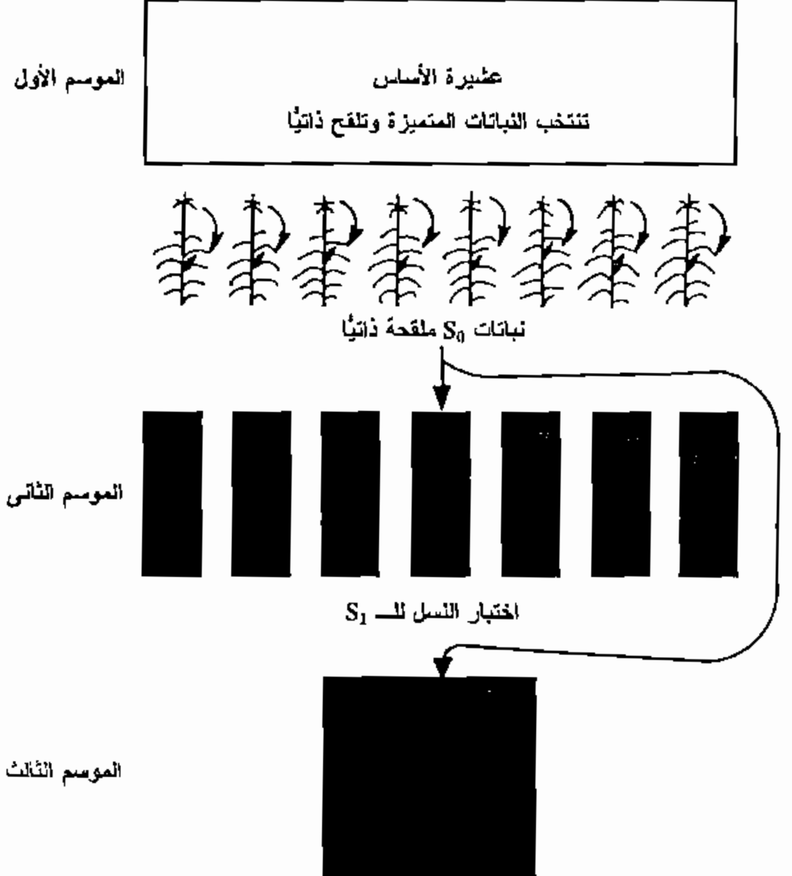
١ – يتم فى فصل النمو الأول انتخاب ٥٠–١٠٠ نبات من العشيرة المفتوحـة التلقيـح (وهى قد تكون عشيرة الجيل الثانى لهجين ما) قبل الإزهار، وتلقيحـها ذاتيًّـا، وحصـاد البذور من نباتات الـ S_0.

٢ – تقييـم فـى موسـم النمـو الثـانى نباتـات الجيـل الأول للتلقيـح الذاتـى S_1 فـــى مكررات، مع الإبقاء على جزء من بذور كل نسل منها.

٣ – تخلط معًا كميات متساوية من بذور الـ S_1 المتبقية للنباتات التى يظهر تفوقــها، وذلك من واقع اختبار النسل الذى أجرى فى الموسم السـابق، ويـزرع هـذا المخلـوط فـى معزل يسمح بحدوث التلقيح الخلطى العشـوائى فيما بينها (شكل ٢–٤).

وتعد هذه الطريقة مناسبة لتحسين النباتات الخلطية التلقيح التى تنتـج كميـات مـن

البذور تكفى لإجراء اختبار النسل فى مكررات مع تبقى جزء من البذور – من كل نبات منتخب لُقِّحَ ذاتيًّا – لإكمال دورة الانتخاب، ولكنها لا تناسب النباتات غير المتوافقة ذاتيًّا.



شكل (٢–٤): الانتخاب المبنى على سلوك الجيل الأول للتلقيح الذاتى.

اختبار النسل مقابل اختبار القدرة على التوافق

تجد فى النباتات الذاتية التلقيح أن اختبار النسل progeny test يعطى نتائج محددة عن النباتات التى اختبر نسلها لأنها تكون أصيلة وراثيًّا. وفى المقابل .. نجد فى النباتات الخلطية التلقيح التى تكون خليطة وراثيًّا أن اختبار النسل يعطى تقييمًا لسلوك

مجموعة عشوائية من من جاميطات الأمهات التى تزاوجت مع مجموعة أخرى عشوائية من جاميطات آباء مجهولة الهوية. ولذا .. يفضل فى حالة النباتات الخلطية التلقيح تلقيح الأمهات المعنية بمجموعة غير متجانسة من حبوب لقاح ذات أصل معروف، ويمكن بعد ذلك إجراء مقارنة لسلوك أنسال النباتات التى لقحت بحبوب اللقاح المعروفة المصدر. ولزيادة دقة الاختبار يفضل أن يكون مصدر اللقاح سلالة مرباة داخليًّا (أى أصيلة وراثيًّا)؛ ففى تلك الحالة تكون كل حبوب اللقاح متماثلة، وتكون الاختلافات بين الأنسال نتيجة للاختلافات بين نباتات الأمهات. يعرف هذا الاختبار باسم التلقيح الاختبارى test cross، وهو يعطى تقييمًا لقدرة نباتات الأمهات المختبرة على التآلف مع السلالة المستعملة كمصدر للقاح. ويطلق على متوسط سلوك سلالة الأم فى سلسلة من التلقيحات مع عدد من السلالات الاختبارية اسم القدرة العامة على التآلف general combining ability، بينما يطلق على سلوك سلالة ما فى تلقيح معين – مقارنة بتلقيحات أخرى لتلك السلالة – اسم القدرة الخاصة على التآلف specific combining ability.

الانتخاب بين أنصاف الأشقاء المبنى على اختبار النسل

تعرف أنصاف الأشقاء half-sibs بأنها عائلة من النباتات استخدم فى إنتاجها أمهات مختلفة لقحت بمصدر واحد لحبوب اللقاح.

تجرى فى برنامج التربية للانتخاب بين أنصاف الأشقاء المبنى على اختبار النسل الخطوات التالية:

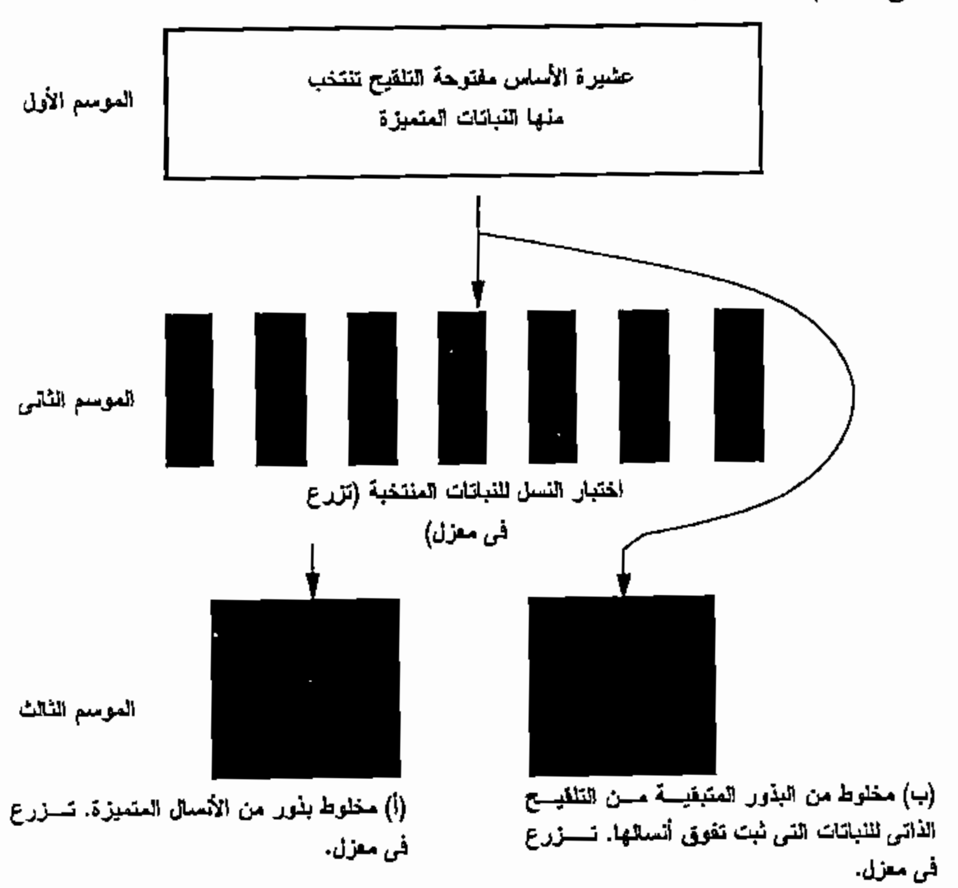
١ – انتخاب ٥٠–١٠٠ نبات من عشيرة مفتوحة التلقيح على أساس الصفات المورفولوجية المرغوب فيها، مع حصاد بذور كل نبات على انفراد، حيث يشكل كل نسل سلالة مختلفة.

٢ – إجراء اختبار النسل على جزء من بذور كل نبات تم انتخابه فى الجيل السابق.

٣ – إعادة تشكيل العشيرة بخلط كميات متساوية من البذور تكون إما من الكميات المتبقية من بذور أفضل ٥–١٠ نباتات ثبت تفوق نسلها، وإما من بذور أفضل ٥–١٠ أنسال. تزرع العشيرة الجديدة فى معزل يسمح لها بالتلقيح العشوائى فيما بينها.

٤ – تستعمل بذور الجيل الثالث إما كصنف جديد بعد إكثارها، وإما كبداية لدورة جديدة من الانتخاب، كما قد تستعمل كجيرمبلازم تعزل منه سلالات جديدة مرباة داخليًا لاستعمالها فى برامج إنتاج الهجن (شكل ٢-٥).

تفيد هذه الطريقة فى تربية النباتات الخطية التلقيح التى تعطى بذورًا بكميات كبيرة تسمح بتقييم الأنسال فى مكررات.



شكل (٢-٥): الانتخاب بين أنصاف الأشقاء المبنى على اختبار النسل.

الانتخاب بين أنصاف الأشقاء المبنى على نتائج التلقيح الاختبارى

يعتمد الانتخاب بين أنصاف الأشقاء فى هذه الطريقة على سلوك التلقيح الاختبارى كبديل لاختبار النسل.

وتجرى تلك الطريقة تبعًا للخطوات التالية:

١ - يتم في موسم النمو الأول - وقبل الإزهار - انتخاب ٥٠-١٠٠ نبات تحمل الصفات المرغوب فيها من العشيرة المفتوحة التلقيح، ثم إما: (أ) تلقيح سلالة اختبارية بحبوب لقاح من كل واحد من النباتات المنتخبة، مع حصاد بذور كل تلقيح، وكذلك البذور الناتجة من التلقيح المفتوح من كل نبات منتخب مع بقائها منفردة، وإما (ب) تلقيح سلالة اختبارية بحبوب لقاح من كل واحد من النباتات المنتخبة. وكذلك تلقيح كل نبات منتخب ذاتيًّا، مع حصاد بذور كل تلقيح، وكذلك البذور الناتجة من التلقيح الذاتي من كل نبات منتخب مع بقائها منفردة.

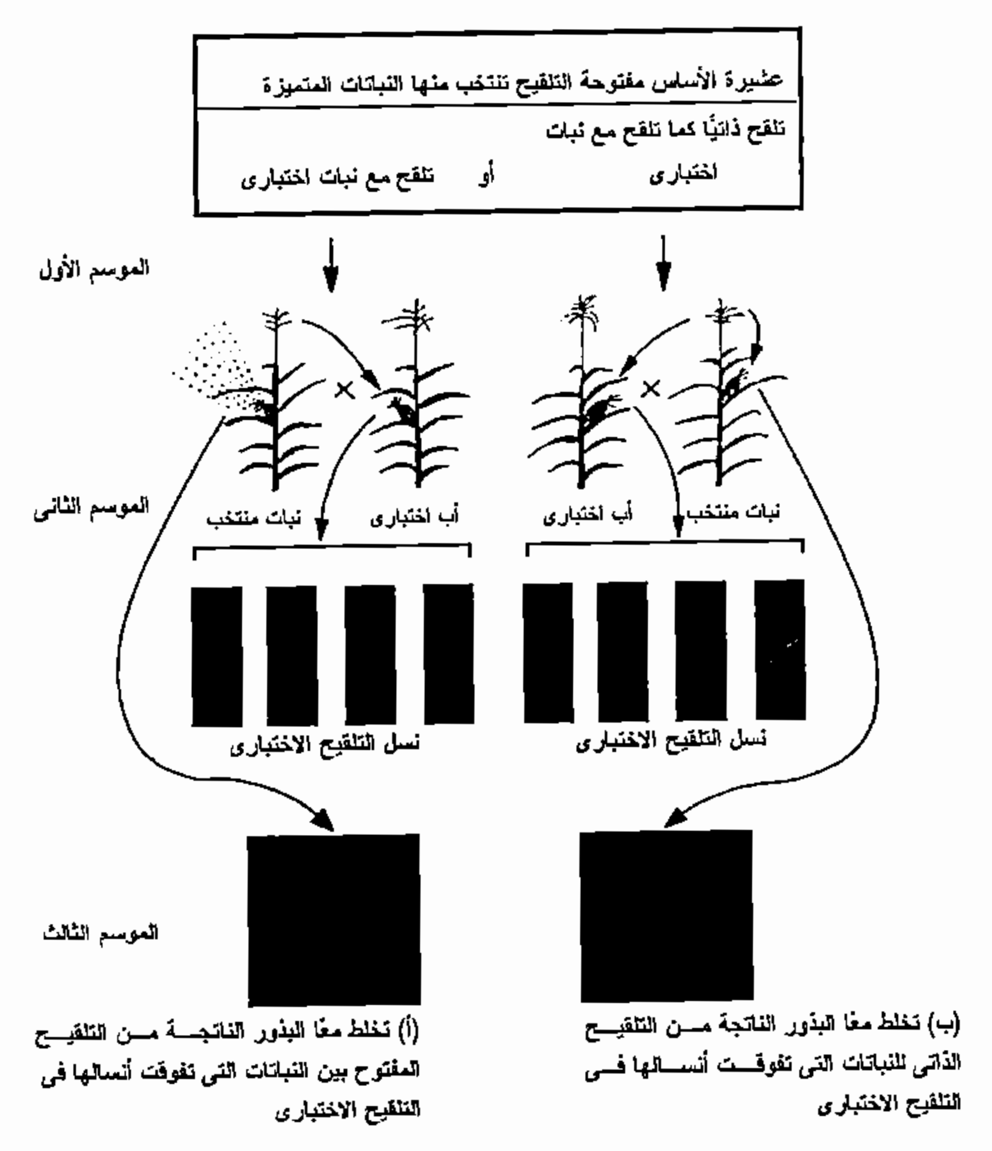
٢ - تزرع في موسم النمو الثاني أنسال التلقيحات الاختبارية.

٣ - يُعاد في موسم النمو الثالث تشكيل العشيرة إما: (أ) بخلط كميات متساوية من البذور الناتجة من التلقيح الخلطي العشوائي لأفضل ٥-١٠ نباتات ثبت تفوق أنسالها في التلقيح الاختباري، وإما (ب) بخلط كميات متساوية من البذور الناتجة من التلقيح الذاتي لأفضل ٥-١٠ نباتات ثبت تفوق أنسالها في التلقيح الاختباري. يزرع التشكيل الجديد للعشيرة في معزل يسمح بحدوث تلقيح خلطي عشوائي فيما بين أفرادها لأجل الحصول على انعزالات وراثية جديدة (شكل ٢-٦).

تعد هذه الطريقة مقياسًا أفضل لمدى جودة التراكيب الوراثية المنتخبة مقارنة بما يحدث في طريقة الاعتماد على اختبار النسل للنباتات أنصاف الأشقاء. وإذا ما كانت السلالة الاختبارية مرباة داخليًّا فإنها تكون أصيلة وراثيًّا وتنتج نوعًا واحدًا من الجاميطات؛ مما يزيد من دقة المقارنات.

هذا .. وتعد الطريقة (ب) أعلاه أفضل من الطريقة (أ) التي تكون فيها مصادر حبوب اللقاح - التي استعملت في إنتاج أنسال النباتات المنتخبة، والتي تتشكل منها العشيرة الجديدة - مجهولة الهوية.

تصلح هذه الطريقة لتربية المحاصيل الخلطية التلقيح التي تنتج بذورًا بكميات تكفي لاختبار أنسالها في تجربة بمكررات، إلاَّ أن الطريقة (ب) لا تناسب النباتات الخلطية التلقيح التي تنتشر فيها ظاهرة عدم التوافق الذاتي.



شكل (٢-٦): الانتخاب بين أنصاف الأشقاء المبنى على التلقيح الاختبارى.

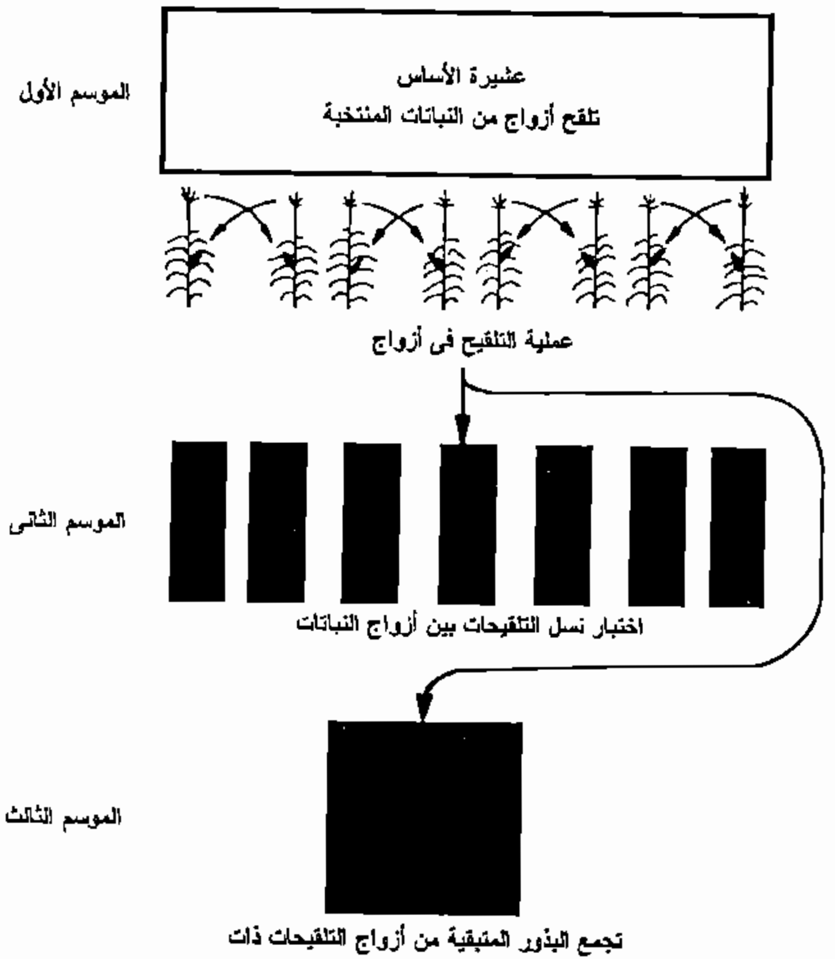
الانتخاب بين الأشقاء

يتم فى حالة التربية بطريقة الانتخاب بين الأشقاء full-sib selection إجراء تلقيحات بين أزواج مختلفة من النباتات المنتخبة من العشيرة الأصلية، مع استعمال البذور الناتجة من هذه التلقيحات لاختيار أفضلها، وهى التى تتكون منها العشيرة الجديدة.

وتكون خطوات الانتخاب بين الأشقاء، كما يلي (شكل ٢-٧):

١ - يتم فى موسم النمو الأول تلقيح ١٥٠-٢٠٠ زوج من النباتات المنتخبة من العشيرة الأصلية، مع جواز إجراء التلقيحات العكسية لأجل الحصول على أكبر كمية من البذور من كل تهجين بين نباتين.

٢ - يجرى فى موسم النمو الثانى اختبارًا لنسل التهجينات فى مكررات مع الاحتفاظ بكمية من بذور كل تلقيح.



شكل (٢-٧): الانتخاب بين الأشقاء المبنى على سلوك النسل فى تلقيحات فردية بين أزواج مختلفة من النباتات المنتخبة من العشيرة الأصلية.

٣ – يعاد فى موسم النمو الثالث تشكيل العشيرة بخلط كميات متساوية من البذور المتبقية لأفضل ١٥–٢٠ هجينًا ثبت تفوقها من اختبار الموسم السابق، ويسمح لها بالتلقيح الخلطى العشوائى فيما بينها للحصول على تراكيب وراثية جديدة.

تصلح هذه الطريقة لعديد من النباتات الخلطية التلقيح، بما فى ذلك غير المتوافقة ذاتيًا منها (عن Poelham & Sleper ١٩٩٥).



الفصل الثالث

انتخاب النَسَبْ

تتبع التربية بطريقة انتخاب النَسَبْ Pedigree Selection فى تحسين كل من النباتات الذاتية التلقيح، والنباتات الخلطية التلقيح التى لا تتدهور بالتربية الداخلية – كالقرعيات –، لأن التلقيح الذاتى ضرورى فى جميع مراحل التربية. ويجرى برنامج التربية بتلقيح صنفين أو سلالتين – أو أكثر – معًا – بغرض جمع صفات مرغوب فيها فى تراكيب وراثية جديدة، مع تسجيل نَسَبْ النباتات فى جميع الأجيال التالية للتلقيح الأول.

خطوات برنامج التربية

نبين – فيما يلى – الخطوات التفصيلية لمراحل التربية بهذه الطريقة.

اختيار الآباء

يعنى بالآباء: الأصناف أو السلالات التى تهجن – معًا – لبدء برنامج التربية. ويتعين لاختيارها تحديد الهدف من برنامج التربية، والصفات التى يرغب المربى فى تجميعها – معًا – فى الصنف الجديد. ويكون أحد الآباء – عادة – هو الصنف الشائع فى الزراعة التجارية، ويكون الأب الثانى مكملاً له فى الصفة – أو الصفات – التى يُرغب فى تحسينها فى الصنف التجارى. وقد يتطلب الأمر إدخال أب ثالث، أو رابع فى التلقيحات، لإضافة الصفات المرغوب فيها، وهذا هو الأمر الغالب بالنسبة لمعظم الأصناف المنتجة حديثًا. ولا يدل مظهر الآباء – عادة – على قدرتها على التآلف وتكوينها لانعزالات جيدة مرغوب فيها عند تهجينها معًا؛ لذا .. فإن تحديد الهجن التى تعطى انعزالات جيدة يعد أولى مهام المربى فى برنامج التربية.

تهجين الآباء وزراعة الجيل الأول

قد يبدأ برنامج التربية بتهجين فردى (فى حالة استعمال سلالتين فقط كآباء)، أو

هجين ثلاثى (فى حالة استعمال ثلاث سلالات)، أو هجين زوجى (فى حالة استعمال أربع سلالات)، أو هجين متعدد السلالات Composite ناتج من تلقيح متعدد multiple cross (عندما يزيد عدد السلالات المستعملة على ست).

وقد يرغب المربى فى إجراء التحسين المطلوب على مرحلتين بدلاً من محاولة تجميع عدد كبير من الصفات المرغوب فيها مرة واحدة؛ حيث يكتفى – فى هذه الحالة – بتهجين عدد أقل من الآباء، ثم تُهجن السلالات الناتجة من برنامج التربية مع سلالات أخرى تحتوى على بقية الصفات المرغوب فيها.

ولا يلزم تسجيل أرقام النباتات المستعملة فى كل تلقيح إذا كانت هذه النباتات من سلالة نقية واحدة، ولكن نظرًا لأن عشائر النباتات الذاتية التلقيح تتكون – عادة – من خليط من السلالات النقية المختلفة وراثيًّا؛ لذا .. يلزم إجراء عدد كبير من التلقيحات، مع تسجيل رقم كل نبات فى هذه التلقيحات الأولية؛ ليمكن الاحتفاظ بنَسَب كل تلقيح منفصلاً عن الآخرين.

هذا .. ويلزم إنتاج كمية من بذور الجيل الأول، تكفى للحصول على العدد اللازم من نباتات الجيل الثانى، ولعمل مخزون من بذور الجيل الأول يكفى لإعادة الزراعة فى حالة فشل الزراعة الأولى.

تزرع بذور الجيل الأول للحصول على بذور الجيل الثانى. وتجب مقارنة نباتات الجيل الأول بالآباء؛ للتأكد من كونها هجنًا فعلاً.

الجيل الثانى

يزرع عدد من نباتات الجيل الثانى يقدر بنحو ١٠–١٠٠ مثل عدد العائلات، التى ينتظر انتخابها فى الجيل الثالث، ويتوقف ذلك على مدى سهولة إجراء عملية التقييم فى الجيل الثانى؛ حيث يزيد العدد كلما كان التقييم أسهل. كما تزيد النسبة كلما ازدادت الاختلافات بين الآباء المهجنة معًا .. مع العلم أنه تنتخب – عادة – ٥٠ سلالة على الأقل فى الجيل الثالث. وتجدر الإشارة إلى أن الجيل الثانى هو الجيل الذى يحدث فيه القدر الأكبر من الاختلافات الوراثية، وأن كل ما يظهر من اختلافات – بعد ذلك – ما هو إلا تكرار لما يظهر فى الجيل الثانى.

تزرع نباتات الجيل الثانى على مسافات واسعة نسبيًا؛ ليمكن ملاحظة كل نبات وتقييمه منفردًا. كما يزرع خط من صنف اختبارى check variety كل ١٠ خطوط للمقارنة. ويعد الصنف التجارى الشائع فى الزراعة هو أفضل الأصناف الاختبارية.

وإذا كان اختيار الآباء الداخلة فى التهجين الأول يحدد الحد الأقصى للتحسين الممكن فى الصنف الجديد .. فإن انتخاب النباتات التى تحمل الصفات المرغوب فيها – خاصة فى الأجيال الانعزالية الأولى – يكون ذا تأثير أكيد على إمكان الوصول إلى هذا الهدف من عدمه؛ لذا .. فإن المربى يجب أن يكون على دراية تامة بالصفات الطبيعية والفسيولوجية للمحصول الذى يقوم بتحسينه، ويعرف مدى تأثرها بالعوامل البيئية؛ بحيث يمكنه تمييز الاختلافات الوراثية المرغوب فيها التى يؤمِّل فيها خيرًا، بمجرد الفحص المظهرى.

ويفيد الانتخاب فى الجيل الثانى فى التنبؤ بمحصول الأجيال التالية فى بعض المحاصيل كالقمح، والشعير، وغيرها من الحبوب الصغيرة، بينما لم يمكن التوصل إلى علاقة كهذه فى محاصيل أخرى كفول الصويا. ويستنتج من ذلك أن الانتخاب فى الأجيال الانعزالية الأولى ليس قاعدة للتميز بين الهجن الممتازة فى كل المحاصيل.

وكقاعدة عامة .. فإنه لا يمكن الاعتماد على مظهر النباتات فى الجيل الثانى للتنبؤ بالمحصول فى الأجيال التالية، خاصة أنها تكون مزروعة على مسافات واسعة. ويجرى الانتخاب فى هذا الجيل للصفات ذات درجات التوريث المرتفعة، مثل الصفات النوعية والمقاومة للأمراض. ويمكن – بعد ذلك فى الجيلين الثالث والرابع – الانتخاب بفاعلية للصفات ذات درجات التوريث المتوسطة. أما الانتخاب للمحصول .. فلا يجرى بفاعلية إلا بعد الجيل الرابع.

ولا تسمح الظروف البيئية – فى أغلب الأحيان – بظهور الصفات المرغوب فيها، وتمييزها عن الصفات غير المرغوب فيها، مثل صفات المقاومة للأمراض، والحشرات، والصقيع، والرقاد ... إلخ؛ حيث يلزم فى هذه الحالات تعريض النباتات للظروف التى تسمح بظهور الصفات المرغوب فيها؛ كأن تعرض للعدوى الصناعية بالآفات بدلاً من الاعتماد على الإصابة الطبيعية التى ربما لا تحدث فى الوقت المناسب، أو بالشدة

الكافية، أو بالسلالة المطلوبة. وقد يجرى الانتخاب فى ظروف يمكن التحكم فيها داخل البيوت المحمية (الصوبات)، ويعيب ذلك قلة عدد النباتات التى يمكن اختبارها، إلا إذا أجرى الاختبار على النباتات وهى فى طور البادرة؛ وبذا .. يمكن تقييم عدد كبير منها فى وقت قصير نسبيًا.

تُزال نباتات الجيل الثانى التى تبدو غير مرغوبة – مظهريًا – بمجرد ملاحظتها، وتنتخب من النباتات المتبقية ما يتميز منها بقوة النمو وبالصفات المرغوبة. ورغم أن حالة الخلط (عدم التماثل) الوراثى heterozygosity تؤثر فى الانتخاب فى هذه المرحلة .. إلا أن اختبارات النسل فى الجيل الثالث تؤدى إلى التخلص من حالات قوة النمو التى يكون مردها إلى الخلط الوراثى. هذا .. وتكون بداية الانتخاب فى الحقل، ثم يُستبعَد مزيد من النباتات بعد الاختبارات المعملية.

يجب أن يكون الانتخاب فى هذه المرحلة حاسمًا، ويعتمد على الاختبارات، والخبرة الشخصية للمربى، وقدرته على الملاحظة الدقيقة. ويجب على المربى المبتدئ أن يتغلب على الشعور بأن النباتات المرغوب فيها قد تظهر فى نسل النباتات التى يجرى استبعادها فى الجيل الثانى؛ لأن عدم التخلص من هذا الشعور يعنى زيادة حجم العمل المطلوب بشدة فى الأجيال التالية إلى درجة تستنفذ معها كل وقت المربى وجهده.

يُحتفظ فى هذا الجيل – وكذلك فى الأجيال التالية – بسجلات كاملة للنسب، تدون فيها أرقام النباتات المنتخبة فى الجيل الثانى (وأرقام العائلات والسلالات المنتخبة فى الأجيال التالية)، بحيث يمكن تتبع نَسَبْ أى نبات فى أى جيل. ويجب أن تتضمن السجلات بيانات عن كل الصفات الهامة؛ مثل قوة النمو، وموعد النضج، والمقاومة للآفات .. إلخ، مع تسجيل لكمية المحصول فى الأجيال المتأخرة.

الأجيال الثالث والرابع والخامس

تزرع بذور الجيل الثالث (وكذلك بذور الجيل الرابع بعد ذلك) على مسافات أوسع مما فى الزراعة التجارية، ولكن أضيق مما فى الجيل الثانى. ويزرع – عادة – من ١٠– ٣٠ نباتًا – أو أكثر – من نسل كل نبات منتخب فى الجيل الثانى، ويكون كل نسل فى خط واحد. وتعد هذه الخطوط عائلات الجيل الثالث F_3 families. ويراعى أن يكون

عدد النبات فى كل عائلة بالقدر الذى يسمح بتحديد درجة الخلط الوراثى فيها. كما يزرع خط من أحد الأصناف الاختبارية فى مقابل كل ١٠ خطوط للمقارنة.

وتتحدد فى الجيل الثالث قيمة التلقيح؛ فإن لم تظهر فيه نباتات تحمل جميع الصفات المرغوب فيها .. فإنه يكون من المفضل إعادة البرنامج من جديد.

يتم الانتخاب فى الجيل الثالث على أساس أفضل النباتات فى أفضل العائلات، فتُحدد – أولاً – أفضل العائلات، ثم تنتخب منها أحسن النباتات. كما يجب أن تؤخذ فى الحسبان كذلك النباتات الممتازة، التى قد توجد فى عائلات ضعيفة. ويستبعد جزء آخر من النباتات بعد الفحص المختبرى؛ بحيث لا يزيد عدد النباتات المنتخبة على عدد عائلات الجيل الثالث.

تعامل نباتات الجيل الرابع معاملة نباتات الجيل الثالث. وإذا ظهر أن بعض عائلات الجيل الرابع قد نشأت من نبات واحد مشترك فى الجيل الثانى، وكان سلوك العائلات متشابهًا فى الجيلين الثالث والرابع .. فإنه يمكن فى هذه الحالة استبعاد بعض هذه العائلات مادامت متماثلة.

وتعامل نباتات الجيل الخامس معاملة نباتات الجيل الرابع. إلا أنها تزرع على مسافات مشابهة لتلك المتبعة فى الزراعة التجارية، وتكون المساحة المخصصة لكل عائلة أكبر حتى يمكن الانتخاب لصفة كمية المحصول. وجدير بالذكر .. أن الانتخاب حتى هذه المرحلة يجرى على أساس النباتات الفردية؛ أى على أساس اختبار أفضل النباتات من أحسن العائلات ، وزراعة بذورها منفصلة.

زراعة الجيل السادس إلى الجيل الثانى عشر

يبدأ من الجيل السادس الانتخاب على أساس السلالات؛ لأنها تكون قد وصلت إلى درجة عالية من التجانس الوراثى، وذلك بعد أن أجرى الانتخاب على أساس النباتات الفردية مع التلقيح الذاتى للنباتات المنتخبة من الجيل الثانى إلى الجيل السادس. ويتم تحديد أفضل العائلات، ثم تحصد بذور جميع نباتات كل عائلة معًا، وهى التى يطلق عليها – من الآن فصاعدًا – اسم سلالة line (يعتبر البعضُ العائلة

مجموعة من السلالات، تمثل أنسال نباتات، انتخبت من نسل نبات واحد فى الجيل السابق).

وتكون زراعة سلالات الجيل السادس (أنسال النباتات الفردية المنتخبة من الجيل الخامس) فى مساحات كبيرة نسبيًا، بدرجة تسمح بدراستها دراسة وافية. ويفضل أن تكون زراعتها فى مكررات إذا وجدت كميات كافية من البذور لذلك. ويبدأ – فى هذا – الجيل تسجيل بيانات وافية عن كمية المحصول، وتؤخذ بيانات وافية عن الصفات الاقتصادية الهامة فى كل من الحقل والمختبر، يتم على أساسها تخفيض عدد العائلات المنتخبة إلى ١٥ عائلة كحد أقصى. وهى التى تحصد بذورها معًا، لتعطى سلالات الجيل السابع.

وتزرع سلالات الجيل السابع فى مكررات، مع مقارنتها بالأصناف التجارية الهامة. وتؤخذ بيانات عن المحصول وجميع الصفات الاقتصادية الهامة، وتحلل النتائج إحصائيًا. وبناء على النتائج المحققة .. تخفض عدد السلالات المنتخبة إلى ٤-٥ سلالات فقط.

وتعامل الأجيال من الثامن إلى العاشر معاملة الجيل السابع، مع امتداد الاختبارات إلى مناطق الإنتاج المختلفة. وبناء على النتائج المُحققة .. تخفض عدد السلالات المنتخبة إلى سلالة واحدة أو سلالتين فقط.

يزرع الجيلان الحادى عشر والثانى عشر فى تجارب موسعة على مساحة فدان أو أكثر (الفدان = ٤٢٠٠م^{٢} = ٠.٤٢ هكتار) بالطرق المتبعة فى الزراعة التجارية، مع مقارنتها بالأصناف الهامة. وبناء على النتائج المُحققة .. يتم الاختبار النهائى لسلالة واحدة، تعطى اسمًا، لتصبح بذلك صنفًا جديدًا (شكل ٣-١).

التقييم النهائى

يجرى التقييم النهائى للصنف الجديد فى عدة مناطق، وعلى مدى عدة سنوات، إلى أن يتأكد المربى من تفوقه على الأصناف المستعملة فى الزراعة التجارية. ويكتفى المربى – عادة – بتقييم الصنف الجديد فى خمس مناطق رئيسية من مناطق إنتاج المحصول، وعلى مدى خمس سنوات.

الجيل	العدد المنتخب		العدد المزروع	
	نباتات	سلالات	نباتات	سلالات
الأول	٥٠		٥٠	
الثانى	٢٥٠		٥٠٠٠	
الثالث	١٢٥	٥٠		٢٥٠
الرابع	٩٠	٤٠		١٢٥
الخامس	٨٠	٣٥		٩٠
السادس		١٥		٨٠
السابع	اختبـــار بمكررات			١٥
الثامن إلى العاشر	اختبار بمكررات عديدة			٤
الحادى عشر إلـى الثانى عشر	اختبار فـى مسـاحة	١		١

شكل (٣-١): تخطيط لخطوات برنامج التربية بطريقة انتخاب النسب.

سجلات النسب

يجب أن تكون سجلات النسب بسيطة ودقيقة. وعمومًا .. فإن كل تلقيح يعطى كودًا خاصًا به، يشير الرقمان الأول والثانى منه إلى سنة إجراء التلقيح، بينما ترمز بقية الأرقام إلى الرقم التسلسلى للتلقيح فى ذلك العام؛ فمثلاً يشير الكود 9906 إلى التلقيح السادس فى عام ١٩٩٩.

أما فى الأجيال الانعزالية .. فتتم المحافظة على سجلات النسب بإحدى الطريقتين التاليتين :

أولاً: سجلات تعتمد على موقع خطوط النسل فى الحقل

يتم فى هذا النظام إعطاء نسل كل نبات فى كل جيل رقمًا يتفق مع موقعه فى الحقل، كما أن كل نسل فى الجيل الرابع والأجيال التالية له يعطى رقم الخط الخاص بالنسل فى الجيل السابق الذى أفرزه (الذى انتخب منه). فمثلاً .. يعطى كل نسل جيل ثالث مستمد من أحد نباتات الجيل الثانى رقمًا يتفق مع رقم خط هذا النسل فى الحقل الذى زرع فيه الجيل الثالث. وتميز النباتات التى تُنتخب من أحد أنسال الجيل الثالث برقم الخط فى ذلك النسل. وعندما تزرع أنسال الجيل الرابع يعطى كل نسل – كذلك – رقم الخط الذى يقع فيه هذا النسل فى حقل الجيل الرابع، بالإضافة إلى رقم الخط الذى كان يوجد فيه النبات المنتخب فى الجيل الثالث. وبالمثل .. فإن النباتات المنتخبة من نسل نبات ما فى الجيل الرابع تعطى رقم الخط الخاص بهذا النسل فى الجيل الرابع. وبعد زراعة أنسال الجيل الخامس تضاف أرقام خطوط الأنسال فى الجيل الخامس إلى رقم الخط فى الجيل الرابع، ويتبع الأسلوب ذاته فى الأجيال التالية (جدول ٣-١)؛ وبذا .. يمكن تتبع نسب كل نسل حتى الجيل الثالث (أو حتى نبات الجيل الثانى) الذى نشأ منه، ولكن يتعين لتحديد النسب أن يقوم المربى بمراجعة سجلات السنوات السابقة.

ثانياً: سجلات تعتمد على الرقم التسلسلى للنباتات المنتخبة

يتم فى هذا النظام – فى كل جيل – إعطاء النباتات المنتخبة أرقامًا متسلسلة داخل كل نسل؛ حيث يحمل كل نسل أو نبات فردى منتخب الرقم التسلسلى لكل النباتات فى الأجيال السابقة فى النسب. وبذا .. يعطى كل نبات منتخب من الجيل الثانى رقمًا متسلسلاً، وتعطى أنسال الجيل الثالث المتحصل عليها ذات الأرقام المتسلسلة التى أعطيت لنباتات الجيل الثانى التى أنتجتها. وتعطى النباتات المنتخبة من نسل ما فى الجيل الثالث رقم ذلك النسل بالإضافة إلى رقم آخر متسلسل فى حدود هذا النسل، حيث يمثل هذان الرقمان – معًا – الرقم الكودى لنسل هذا النبات فى الجيل الرابع. وبالمثل .. فإن النباتات التى تنتخب من أحد أنسال الجيل الرابع تعطى رقم ذلك

النسل فى الجيل الرابع بالإضافة إلى رقم جديد يمثل الرقم التسلسلى للنبات المنتخب من هذا النسل (جدول (٣-٢).

يتبين من هذا النظام أن بالإمكان التتبع الفورى لنسب كل نسل دونما حاجة إلى الرجوع إلى سجلات الأعوام السابقة. وفى المقابل .. تزداد احتمالات حدوث الأخطاء فى هذا النظام نظرًا لكثرة الأرقام التى يتعين تسجيلها (عن Singh ١٩٩٣).

جدول (٣-١): نظام الاحتفاظ بسجلات للنسب تعتمد على أرقام لخطوط الأنسال المعنية فى كل جيل من برنامج التربية.

الجيل	الرقم الكودى	وصف الرقم الكودى
F_3	9906-8	النسل الذى يوجد فى الخط الثامن من حقل الجيل الثالث
F_4	9906-8-5	النسل الذى يوجد فى الخط الخامس من حقل الجيل الرابع، وهو الذى انتخب من النسل الذى كان موجودًا فى الخط الثامن من حقل الجيل الثالث
F_5	9906-8-5-12	النسل الذى يوجد فى الخط الثانى عشر من حقل الجيل الخامس، وهو الذى انتخب من النسل الذى كان موجودًا فى الخط الخامس من حقل الجيل الرابع.
F_6	9906-8-5-12-4	النسل الذى يوجد فى الخط الرابع من حقل الجيل السادس، وهو الذى انتخب من النسل الذى كان موجودًا فى الخط الثانى عشر من حقل الجيل الخامس.

جدول (٣-٢): نظام الاحتفاظ بسجلات للنسب تعتمد على إعطاء أرقام خاصة بالنباتات المنتخبة.

الجيل	الرقم الكودى	وصف الرقم الكودى
F_3	9906-7	النسل المتحصل عليه من النبات رقم ٧ فى الجيل الثانى
F_4	9906-7-4	النسل المتحصل عليه من النبات رقم ٤ المنتخب من نسل الجيل الثالث المتحصل عليه من نبات الجيل الثانى المنتخب رقم ٧
F_5	9906-7-4-2	النسل المتحصل عليه من النبات رقم ٢ المنتخب من نسل الجيل الرابع المتحصل عليه من النبات رقم ٤ المنتخب من نسل الجيل الثالث المتحصل عليه من نبات الجيل الثانى رقم ٧
F_6	9906-7-4-2-8	النسل المتحصل عليه من النبات رقم ٨ المنتخب من نسل الجيل الخامس المتحصل عليه من النبات رقم ٢ المنتخب من نسل الجيل الرابع للنبات المنتخب رقم ٤ فى الجيل الثالث وهو المتحصل عليه من نبات الجيل الثانى المنتخب رقم ٧

وعند تسجيل الأنساب يسجل – كذلك – وصفًا مختصرًا للصفات المميزة لكل نسل.

ومن أهم ما تجب مراعاته بشأن توصيف الأنسال، ما يلى:

١ – لا تسجل سوى الصفات الهامة المميزة، وإلاّ أصبح تسجيل الأنساب عبئًا ثقيلاً.

٢ – يجب قصر السجلات على الأنسال المتميزة فقط، مع الاستغناء عن كافة الأنسال الأخرى.

٣ – يجب أن تكون سجلات النسب دقيقة للغاية، لأن السجلات غير الدقيقة تسبب إرباكًا للمربى (عن Singh ١٩٩٣).

مزايا طريقة التربية بانتخاب النَّسَب وعيوبها

تتميز التربية بطريقة انتخاب النَّسَب بما يلى:

١ – يمكن عن طريقها إجراء مقارنة دقيقة بين السلالات من واقع سجلات النسب. ويمكن الاستفادة من ذلك فى توسيع رقعة الاختلافات الوراثية بين السلالات خلال مراحل الانتخاب.

٢ – يكون التقييم والانتخاب على أساس سلوك النباتات والعائلات والسلالات فى الأجيال السابقة، وهى التى يمثل كل منها موسمًا زراعيًّا مختلفًا، مما يسمح بظهور الاختلافات الوراثية للصفات الهامة.

٣ – تمكن هذه الطريقة المربى من استعمال مهارته وخبراته فى انتخاب النباتات المرغوب فيها، وخاصة فى الأجيال الانعزالية الأولى.

٤ – تناسب هذه الطريقة تحسين الصفات التى يمكن التعرف عليها بسهولة والتى تكون بسيطة فى وراثتها.

٥ – تسمح هذه الطريقة بالتخلص من معظم التراكيب الوراثية غير المرغوب فيها فى الأجيال الأولى لبرنامج التربية وقبل الوصول إلى مراحل التقييم الموسعة للسلالات التى يتم انتخابها.

٦ – قد يمكن العثور على انعزالات فائقة الحدود فى الصفات الكمية.

٧ – تأخذ وقتًا أقل من طريقة انتخاب التجميع لإنتاج صنف جديد.

٨ – يمكن استبعاد النباتات والأنسال التى تظهر بها عيوب واضحة خلال المراحل الأولى من البرنامج.

٩ – تسمح هذه الطريقة – كذلك – بدراسة وراثة بعض الصفات النوعية الهامة من واقع البيانات المتجمعة فى سجلات النسب.

أما عيوب التربية بطريقة انتخاب النسب .. فهى كما يلى:

١ – يستغرق حفظ سجلات النسب قدرًا كبيرًا من وقت المربى وجهده؛ بما لا يسمح له بالعمل فى تلقيحات أو برامج أخرى.

٢ – يعتمد نجاح هذه الطريقة على مهارة المربى، حيث لا يكون للانتخاب الطبيعى مكانًا فيها.

٣ – لا يكون الانتخاب للمحصول فى الجيلين الثانى والثالث فعّالاً، وإذا لم يحتفظ بعدد كاف من النباتات والأنسال فإن بعض التراكيب الوراثية القيمة قد تفقد فى الأجيال الانعزالية الأولى.

٤ – زيادة مساحة الأرض التى تلزم لإجراء برنامج التربية.

٥ – لا تسمح بزراعة بعض أجيال التربية فى غير المواسم الزراعية المعتادة التى تظهر فها صفات المحصول، وهو ما يعنى زيادة برنامج التربية عدة سنوات بالنسبة لطرق التربية الأخرى.

طرق التربية المحورة من طريقة انتخاب النسب

أدخل بعض المربين تحورات – بعضها جذرى – على التربية بطريقة انتخاب النسب. وتهدف هذه التحورات إما إلى إبطاء الوصول إلى حالة الأصالة الوراثية، مع زيادة الفرصة لظهور الانعزالات المرغوب فيها، وإما إلى تسهيل عملية الوصول إلى الأصالة الوراثية قبل بدء عملية الانتخاب. ونذكر – فيما يلى – أهم هذه التحورات.

انتخاب النسب المتكرر

يجرى انتخاب النسب المتكرر Recurrent-Pedigree Selection فى الحالات التى يسهل فيها إجراء التلقيحات، وعندما يعطى كل تلقيح عددًا كبيرًا من البذور. لا تختلف هذه الطريقة عن انتخاب النسب العادى إلا فى الأجيال المبكرة لعملية الانتخاب حيث تلقح النباتات المنتخبة مع بعضها بصورة منظمة، أو بشكل عشوائى، ثم يستمر

برنامج التربية بطريقة انتخاب النسب بشكل عادى بعد ذلك. وتؤدى عملية تلقيح النباتات المنتخبة – معًا – إلى إبطاء الوصول إلى حالة الأصالة الوراثية، مع زيادة فرصة ظهور انعزالات فائقة.

انتخاب النسب الرجعى

يجرى انتخاب النسب الرجعى Backcross-Pedigree Selection عندما يفوق أحد الأصناف التى يبدأ بها برنامج التربية بدرجة ملحوظة الأصناف الأخرى؛ حيث يفضل – حينئذٍ – تلقيح الجيل الأول والجيل الثانى – وربما الجيل الثالث أيضًا – رجعيًّا إلى الأب الفائق؛ بغرض استرجاع أكبر قدر من صفاته، ويستمر برنامج التربية – بعد ذلك – بطريقة انتخاب النسب بشكل عادى؛ لإعطاء الفرصة لظهور انعزالات فائقة الحدود.

التحدر من بذرة واحدة

كل Goulden هو أول من اقترح هذه الطريقة لتحسين القمح فى عام ١٩٤١؛ كبديل لطريقة انتخاب النسب العادية، ولكنه لم يسمها بهذا الاسم. ولم يظهر الإسم الذى عرفت به هذه الطريقة – وهو التحدر من بذرة واحدة – إلا فى سنة ١٩٦٢؛ بواسطة Johnson & Bernard. وكان Brim هو أول من استعملها فى برنامج للتربية (لتحسين فول الصويا) فى عام ١٩٦٦، ولكنه أشار إليها كطريقة انتخاب نسب محورة modified pedigree method (عن Fehr ١٩٨٧).

تناسب هذه الطريقة كلا من النباتات الذاتية التلقيح والخلطية التلقيح (التى لا تتدهور بالتربية الداخلية)، مع إخضاعها – بطبيعة الحال – للتلقيح الذاتى الصناعى.

وتعد هذه الطريقة من أسهل الطرق للوصول إلى الأصالة الوراثية بأقل جهد. كما يمكن اختصار الوقت بزراعة جيلين أو أكثر فى كل عام، يكون أحدهما فقط تحت ظروف الحقل، وتكون الأجيال الأخرى فى البيوت المحمية، دونما اعتبار لتأثير الظروف البيئية على الشكل الظاهرى. ويمكن اختصار الوقت اللازم للوصول إلى الأصالة الوراثية بحصاد البذور أو الثمار، بعد تكون الأجنة مباشرة، ثم فصل الأجنة منها

وزراعتها فى بيئات خاصة. ويعقب الوصول إلى الأصالة الوراثية الاستمرار فى التربية بأى نظام للانتخاب.

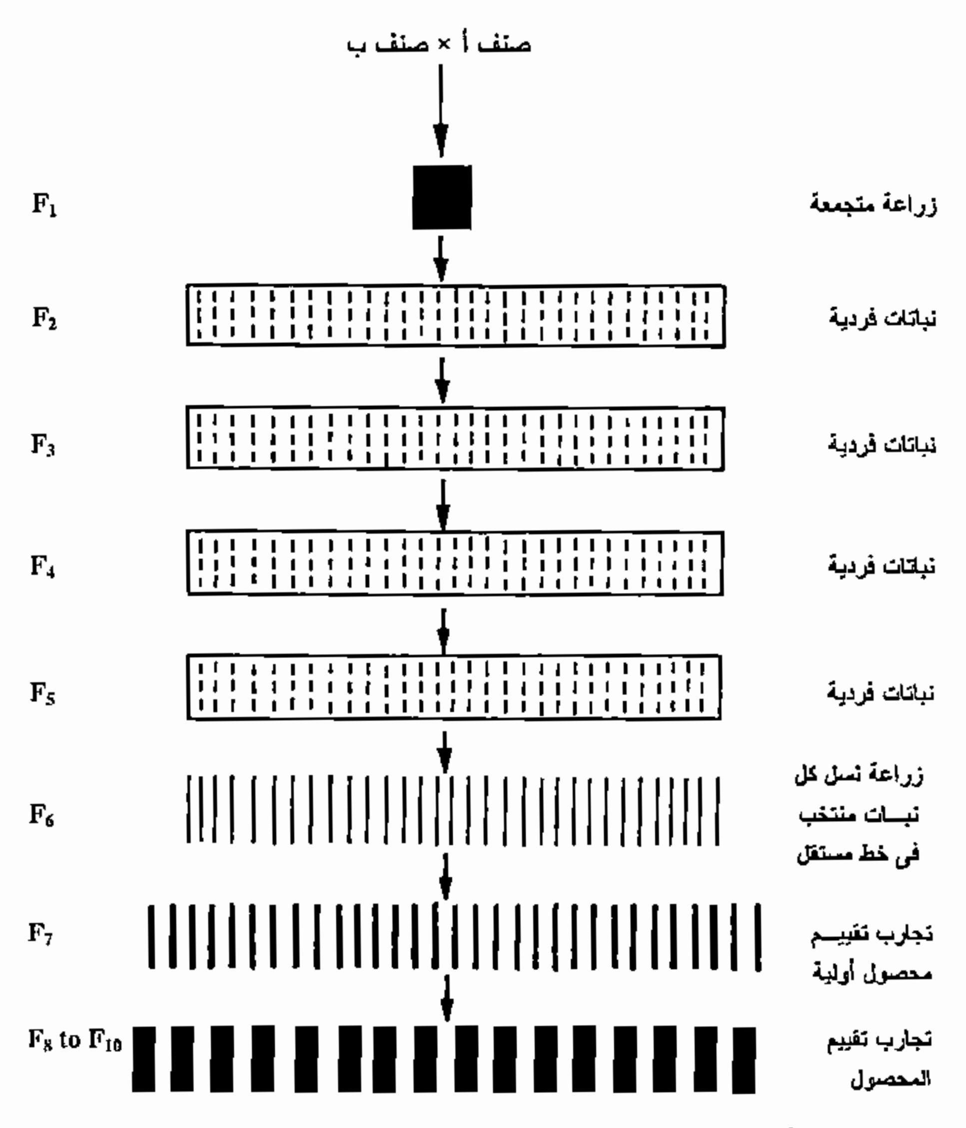
تتلخص الطريقة الكلاسيكية للتحدر من بذرة واحدة Single Seed Descent كما اقترحها Brim فى عام ١٩٦٦ (عن Gritton ١٩٨٦) لتحسين فول الصويا فى زراعة عدد من نباتات الجيل الأول يكفى لإنتاج ٥٠٠ بذرة أو أكثر من الجيل الثانى. تحصد بذرة واحدة من كل نبات من الجيل الثانى، وتخلط معًا وتزرع لإنتاج الجيل الثالث. وتكرر هذه العملية حتى الجيل السادس. حينئذٍ تستبعد النباتات التى تبدو غير مرغوبة من شكلها الظاهرى، وتنتخب النباتات التى تبدو فائقة مظهريًّا لمزيد من التقييم بعد ذلك. هذا .. علمًا بأن السلالات الرديئة جدًّا .. يمكن أن يجرى استبعادها أولاً بأول، قبل الوصول إلى الجيل السادس.

توجد ثلاث طرق رئيسية لتطبيق مبدأ التحدر من بذرة واحدة للوصول إلى الأصالة الوراثية، وهى كما يلى:

١ – طريقة البذرة الواحدة:

عند إجراء برنامج التربية بطريقة البذرة الواحدة single seed procedure، يتم الاحتفاظ ببذرة واحدة من كل نبات من نباتات الجيل الثانى والأجيال التالية لزراعتها فى الجيل التالى. ولأسباب عملية، فإنه يتم – عادة – فى محاصيل البقول حصاد قرن واحد من كل نبات، ولكن تزرع منه بذرة واحدة كذلك. وعند الوصول إلى الدرجة المرغوب فيها من الأصالة الوراثية تبدأ عملية التقييم لأنسال النباتات والانتخاب فيما بينها.

يتم فى الجيل الخامس أو السادس انتخاب نحو ١٠٠–٥٠٠ نبات وتزرع أنسالها فى الجيل التالى، حيث يجرى الانتخاب بين الأنسال مع خفض عددها إلى القدر الذى يسمح بتقييم العدد المنتخب فى تجربة بمكررات فى الموسم التالى، كما قد يمكن انتخاب النباتات الفردية، إلا أن ذلك يكون قاصرًا – فقط – على العائلات المتميزة التى تظهر فيها انعزالات. ويعنى ذلك أن تجارب تقييم المحصول الأولية واختبارات الجودة تبدأ فى الجيل السابع أو الثامن، وتجرى التجارب الموسعة فى الجيل الثامن أو التاسع (شكل ٣–٢).



شكل (٣-٢): تخطيط لبرنامج التربية بطريقة التحدر من بذرة واحدة.

يجب أن يراعى – عند اتباع هذه الطريقة – أن عدد النباتات المزروعة يقل – تدريجيًا – جيلاً بعد جيل، إما بسبب عجز بعض النباتات عن عقد البذور، وإما لعدم قدرة بعض البذور على الإنبات. لذا .. فإن هذا الأمر يجب أن يؤخذ فى الحسبان منذ البداية، بحيث يتوفر للمربى فى نهاية الأمر العدد المطلوب من السلالات الأصيلة التى يرغب فى تقييمها.

ولحساب عدد البذور التى ينبغى زراعتها فى كل جيل يلزم أن نبدأ بالجيل الأخير، ثم نعود إلى الخلف حتى الجيل الثانى، كما يتطلب الأمر افتراض نسبة معينة لبذور النباتات التى تنبت وتعطى نباتاتها بذرة واحدة على الأقل فى كل جيل. فلو فرض أن كانت هذه النسبة ٨٠٪، وكان المطلوب هو توفر ٢٠٠ سلالة فى الجيل الخامس .. فإن ذلك يعنى ضرورة زراعة ٢٥٠ بذرة (٢٠٠ ÷ ٠,٨ = ٢٥٠) فى الجيل الخامس، و ٣١٣ بذرة (٢٥٠ ÷ ٠,٨ = ٣١٢,٥) فى الجيل الرابع، و ٣٩٢ بذرة (٣١٣ ÷ ٠,٨ = ٣٩١,٢) فى الجيل الثالث، و ٤٩٠ بذرة (٣٩٢ ÷ ٠,٨ = ٤٩٠) فى الجيل الثانى.

ويلزم حصاد عينة أخرى إضافية (بذرة إضافية) من كل نبات فى كل جيل، تخلط – معًا – للاحتياط فى حالة فشل الزراعة. ويمكن – فى حالة فول الصويا مثلاً – حصاد قرن واحد به ٢–٣ بذرات من كل نبات، حيث تستعمل من كل قرن بذرة واحدة، ويحتفظ ببقية البذور كاحتياطى.

وتجدر الإشارة إلى أن طريقة البذرة الواحدة تعنى أن كل نبات فى الجيل الأخير ينتسب إلى نبات مختلف من نباتات الجيل الثانى، إلا أنها لا تسمح بتمثيل كل نبات من الجيل الثانى فى الجيل الأخير، لأن عدم إنبات أية بذرة فى أى جيل يعنى استبعاد نبات الجيل الثانى الذى انحدرت منه هذه البذرة تلقائيًّا. وتسمح هذه الطريقة بمزاولة الانتخاب فى أى جيل، لاستبعاد النباتات التى تحمل صفات غير مرغوب فيها.

٢ – طريقة الجورة الواحدة Single-Hill Procedure:

تزيد طريقة الجورة الواحدة – كثيرًا – من فرصة تمثيل كل نبات من الجيل الثانى فى كل جيل من أجيال التربية الداخلية. وقد اقترح هذه الطريقة Jones & Singleton فى عام ١٩٣٤، وفيها يرزع نسل كل نبات – فى أى جيل – كسلالة مستقلة. ويجرى ذلك بزراعة ٣–٤ بذور من كل نبات فى جورة واحدة، وتحصد منها البذور الناتجة من التلقيح الذاتى، لتزرع ٣–٤ بذور منها فى جورة أخرى فى الجيل التالى .. وهكذا. وتحصد بذور النباتات الفردية مستقلة، حينما تصل العشيرة إلى الدرجة المرغوبة من الأصالة الوراثية.

ويمكن بهذه الطريقة تتبع نسب أى نبات من أى جيل حتى الجيل الثانى، ولكن

يلزم في هذه الحالة الاحتفاظ بسجلات للنسب، وهو مالا يعمل به في طريقة البذرة الواحدة.

٣ – طريقة البذور المتعددة Multiple-Seed Procedure:

يتطلب اتباع طريقة البذرة الواحدة زراعة عدد كبير من البذور في الجيل الثاني عما في الأجيال التالية، مع جمع عينة إضافية من البذور في كل جيل، تستعمل كاحتياطي في حالة فشل الزراعة. ولتجنب ذلك .. تتبع طريقة البذور المتعددة، وفيها تحصد ٣-٤ بذور من كل نبات، وتخلط معًا، ثم يزرع جزء من البذور، ويحتفظ بالباقي كاحتياطي. ويتوقف عدد البذور التي تزرع وتحصد في كل جيل على عدد السلالات التي يرغب في الحصول عليها من العشيرة لتقييمها، وعلى نسبة الإنبات المتوقعة للبذور.

وعلى خلاف طريقة البذرة الواحدة .. فإن عدد البذور التي تزرع في طريقة البذور المتعددة يمكن أن يبقى ثابتًا في كل جيل. فلو فرض أن رغب المربي في الحصول على ٢٠٠ سلالة في الجيل الخامس، وكانت نسبة الإنبات المتوقعة ٨٠٪ .. فما عليه سوى زراعة ٢٥٠ بذرة (٢٠٠ ÷ ٠,٨ = ٢٥٠) في الجيل الثاني؛ لكي يحصل منها على ٢٠٠ نبات، ثم يحصد ثلاث بذور من كل نبات منها؛ ليتجمع لديه ٦٠٠ بذرة جيل ثالث. وتزرع ٢٥٠ من بذور الجيل الثالث؛ لكي يحصل منها على ٢٠٠ نبات، ثم تحصد ثلاث بذور من كل نبات منها؛ ليتجمع لديه ٦٠٠ بذرة جيل رابع ... وهكذا إلى أن يصل إلى المستوى المطلوب من التربية الداخلية. وقد أطلق على هذه الطريقة أسماء مختلفة، منها طريقة التحدر المحورة من بذرة واحدة Modified Single-Seed Descent، وطريقة القرون المجمعة pod-bulk method، نسبة إلى تجميع بذور قرن واحد من كل نبات؛ كما يتبع في فول الصويا.

وتتميز جميع الطرق – التي شرحت آنفًا لتطبيق مبدأ التحدر من بذرة واحدة – بما يلي:

١ – سهولة إدامة العشائر والمحافظة عليها، خلال مراحل التربية الداخلية.

٢ – لا يؤثر الانتخاب الطبيعي في العشائر إلا إذا اختلفت التراكيب الوراثية في قدرتها على إنتاج بذرة واحدة على الأقل.

٣ – تناسب جميع الطرق الزراعية فى البيوت المحمية فى غير المواسم العادية ؛ وبذلك ... يمكن تقصير الفترة التى تلزم للوصول إلى الأصالة الوراثية.

ويعاب على هذه الطرق ما يلى:

١ – يعتمد الانتخاب الصناعى على مظهر النباتات الفردية، وليس على اختبارات النسل.

٢ – لا تسمح هذه الطرق بأن يأخذ الانتخاب الطبيعى مجراه فى التأثير الإيجابى فى العشائر.

وتتميز طريقة البذرة الواحدة بما يلى:

١ – تتطلب هذه الطريقة وقتًا أقل ومساحة أقل بكثير من طريقة الجورة الواحدة.

٢ – ينتسب كل نبات فى الجيل النهائى إلى نبات مختلف من الجيل الثانى؛ وبذلك .. تزيد الاختلافات الوراثية فى العشيرة.

ولكن يعاب على طريقة البذرة الواحدة ما يلى:

١ – ربما لا يُمَثَّل نبات من نباتات الجيل الثانى بنبات فى الجيل النهائى؛ بسبب فشل بعض النباتات فى إنتاج بذرة واحدة على الأقل فى كل من أجيال التربية الداخلية.

٢ – يجب تعديل عدد البذور التى ينبغى زراعتها فى كل جيل تبعًا لنسبة الإنبات.

٣ – تتطلب هذه الطريقة وقتًا أطول عند الحصاد عن طريقة البذور المتعددة لتحضير عينتين من البذور واحدة للزراعة، والأخرى تترك كاحتياطى.

وتتميز طريقة الجورة بأن كل نبات فى العشيرة ينتسب إلى نبات مختلف فى الجيل الثانى؛ مما يزيد الاختلافات الوراثية فى العشيرة. ولكن يعيب هذه الطريقة أنها تتطلب وقتًا أطول عند الزراعة والحصاد، ومساحة أكبر للزراعة عن الطريقتين الأخريين (Fehr ١٩٨٧).

الفصل الرابع

انتخاب التجميع

تتبع التربية بطريقة انتخاب التجميع Bulk Population Breeding فى تحسين النباتات الذاتية التلقيح فقط؛ لأنها تعتمد على خاصية التلقيح الذاتى الطبيعى خلال فترة زراعة العشائر الانعزالية متجمعة in bulk، إلى أن تصل النباتات إلى حالة الأصالة الوراثية قبل بدء عملية الانتخاب، وتناسب هذه الطريقة المحاصيل البذرية، خاصة الحبوب والبقول.

وبالإضافة إلى استخدام هذه الطريقة فى تحسين العشائر الذاتية التلقيح، فإنها يمكن أن تستخدم – بذات الكفاءة – فى تحسين العشائر المرباة داخليًّا من المحاصيل الخلطية التلقيح.

خطوات برنامج التربية

إن من أهم خطوات برنامج التربية بطريقة انتخاب التجميع، ما يلى:

اختيار الآباء وإنتاج الجيل الأول

تختار الآباء بعناية كما سبق بيانه بالنسبة للتربية بطريقة انتخاب النسب. وقد يبدأ برنامج التربية بهجين متعدد السلالات Composite يدخل فى تكوينه ١٦ صنفًا، أو سلالة، وربما أكثر من ذلك. والمهم أن تحتوى الآباء على كافة الصفات التى يرغب فى تجميعها فى الصنف الجديد.

ويطلق اسم الجيل الأول على نسل أول تلقيح شامل لكل السلالات التى يُراد استعمالها كآباء، سواء كان الهجين فرديًّا، أم ثلاثيًّا، أم زوجيًّا، أم متعدد السلالات. وقد يتم تهجين كل سلالتين معًا توفيرًا للوقت، ثم تخلط كميات متساوية من بذور كل تهجين؛ لتشكل معًا الجيل الأول، ولكن هذا الخلط لا يوصى به فى حالة تقييم واختبار الأجيال المبكرة. ويعنى إجراء التهجينات بين الآباء بهذه الطريقة أن أى نبات – أو

سلالة – تنتخب من برنامج التربية لن تحتوى إلا على جينات من سلالتين فقط، هما سلالتا الآباء.

اختبار الأجيال المبكرة Early Generation Testing

يجرى اختبار مبكر لعشائر الجيل الثانى المتحصل عليها من تلقيحات مختلفة إن توفرت كميات كافية من بذورها لذلك. وتزرع العشائر فى تجربة بمكررات، ويفضل أن تنفذ الدراسة فى عدة مواقع. ويستدل من بيانات المحصول على التلقيحات التى تحتوى على عدد كبير من الانعزالات الجيدة المرغوب فيها، وتلك هى التى يستمر معها برنامج التربية بعد ذلك، بينما تستبعد العشائر الأخرى.

وفى حالة عدم توفر كميات كافية من بذور عشائر الجيل الثانى .. يتم إنتاج عشائر الجيل الثالث، ثم يجرى عليها الاختبار كما سبق بيانه. ويفيد اختبار الأجيال المبكرة فى تحديد التلقيحات التى يؤمل أن تعطى انعزالات جيدة، خاصة وأن البرنامج يستمر بعد ذلك لعدة سنوات دون أية دراية بمدى جدواه خلال الفترة التى تزرع فيها النباتات متجمعة، وهى التى تمتد حتى الجيل الخامس أو السادس.

وقد يجرى التقييم المبكر للأصناف التى تدخل فى التلقيحات لمعرفة مدى صلاحيتها؛ بعمل تلقيحات بنيها بكل الطرق الممكنة (Diallel Crosses)، ثم يزرع الجيلان الأول والثانى لكل تلقيح فى تجربة بمكررات، وتقارن متوسطات كل صنف عند اشتراكه فى هجن مع الأصناف الأخرى. ويعاب على هذه الطريقة احتياجها إلى جهد كبير، كما يصعب اتباعها عند زيادة عدد الأصناف على ١٠؛ لأن عدد الهجن الممكنة تصبح – مثلاً – ١٠٥، و ١٩٠ عند زيادة عدد الأصناف إلى ١٥، و ٢٠ على التوالى.

الأجيال المتجمعة Bulk Populations

تزرع نباتات الجيل الثانى والأجيال التالية حتى الجيل الخامس أو السادس متجمعة معًا؛ فتحصد بذور الجيل الثانى (التى تنتجها نباتات الجيل الأول)، وتخلط معًا وتزرع، ثم تحصد بذور الجيل الثالث (التى تنتجها نباتات الجيل الثانى)، وتخلط معًا،

وتزرع ... وهكذا تستمر الحال على هذا الوضع، إلى أن تصل النباتات إلى الدرجة المطلوبة من الأصالة الوراثية قبل أن يبدأ انتخاب النباتات الفردية.

ونظرًا لأن كمية البذور التى تحصد من جيل ما تكون أكبر بكثير مما يلزم للزراعة فى الجيل التالى؛ لذا .. فإن البذور تخلط – معًا – بشكل جيد، وتؤخذ منها عينة عشوائية تكفى لزراعة المساحة التى تزرع سنويًّا؛ والتى تظل ثابتة جيلاً بعد جيل. وتجدر الإشارة إلى أن اختبار الأجيال المبكرة – إن أجرى – تزرع فيه النباتات متجمعة كذلك.

وتحقق فترة الزراعة المتجمعة عدة مزايا، هى:

١ – وصول جميع النباتات فى العشيرة إلى الأصالة الوراثية، دون أن يتحمل المربى مشقة الاحتفاظ بسجلات النسب. ورغم أن النباتات الخليطة قد تتميز بقدرة أكبر على البقاء والتكاثر لقوة نموها .. إلا أن ذلك لا يؤثر كثيرًا فى سرعة الوصول إلى الأصالة الوراثية.

٢ – يمكن الاستفادة من الانتخاب الطبيعى فى استبعاد التراكيب الوراثية التى لا تتحمل الظروف البيئية السائدة، أو التى لا تقاوم الأوبئة المرضية أو الحشرية التى يتكرر حدوثها. كما يفيد الانتخاب الطبيعى فى خفض معدل تكاثر التراكيب الوراثية التى تكون أقل تأقلمًا على الظروف البيئية؛ فتقل نسبتها تبعًا لذلك فى عشيرة الجيل السادس، التى يبدأ فيها الانتخاب.

٣ – يمكن إجراء الانتخاب الصناعى لبعض الصفات بسهولة كبيرة خلال الأجيال المتجمعة، لكن يشترط أن تكون هذه الصفات أساسية بالنسبة للصنف الجديد، الذى يرغب فى إنتاجه، لأن كافة النباتات الأخرى – التى لا تحتوى على هذه الصفات – يتم استبعادها جملة واحدة. ويعد ذلك انتخابًا إجماليًا ضمن برنامج انتخاب التجميع.

ومن أمثلة الصفات التى يسهل الانتخاب لها ما يلى:

أ – المقاومة للآفات بإجراء العدوى الصناعية بالحشرات أو بمسببات الأمراض.

ب – التبكير فى النضج بإجراء الحصاد فى الموعد المرغوب للنضج، وهو ما يؤدى إلى استبعاد النباتات المتأخرة النضج تلقائيًا؛ لأنها لا تسهم فى إنتاج البذور للجيل التالى.

جـ – طول النبات في بعض الأنواع النباتية كمحاصيل الحبوب الصغيرة، وهي صفة مهمة لمنع الرقاد، وتجرى بحصاد السنابل، التي تكون عند الارتفاع المرغوب فيه فقط، مع إزالة السنابل التي تتكون على النباتات الأطول من ذلك، والاستغناء عن السنابل التي تتكون على ارتفاع يقل عن المطلوب.

د – انتخاب البذور الكبيرة الحجم، أو التي تكون بأشكال معينة، ويجرى ذلك – بسهولة – بغربلة البذور بعد الحصاد، ولاتزرع سوى البذور التي تبلغ الحجم المطلوب أو التي تكون بالشكل المطلوب.

هـ – استبعاد النباتات التي يكون واضحًا من شكلها المظهرى أنها غير مرغوبة؛ حتى تكون نسبتها منخفضة في العشيرة، حينما تبدأ عملية الانتخاب. ومن أمثلة ذلك .. صفة النمو غير المحدود في الفاصوليا، حينما يراد إنتاج صنف محدود النمو؛ خاصة أن النباتات ذات النمو المحدود لا يمكنها منافسة النباتات ذات النمو غير المحدود.

لكن يعاب على فترة الزراعة المتجمعة ما يلي:

١ – ربما لا تُمَثَّل جميع النباتات من جيل ما في الجيل التالي له بمحض الصدفة.

٢ – لا يمكن تحديد نسب التراكيب الوراثية ومدى الاختلافات الوراثية في العشيرة.

٣ – قد يناسب الانتخاب الطبيعي صفات غير مرغوبة.

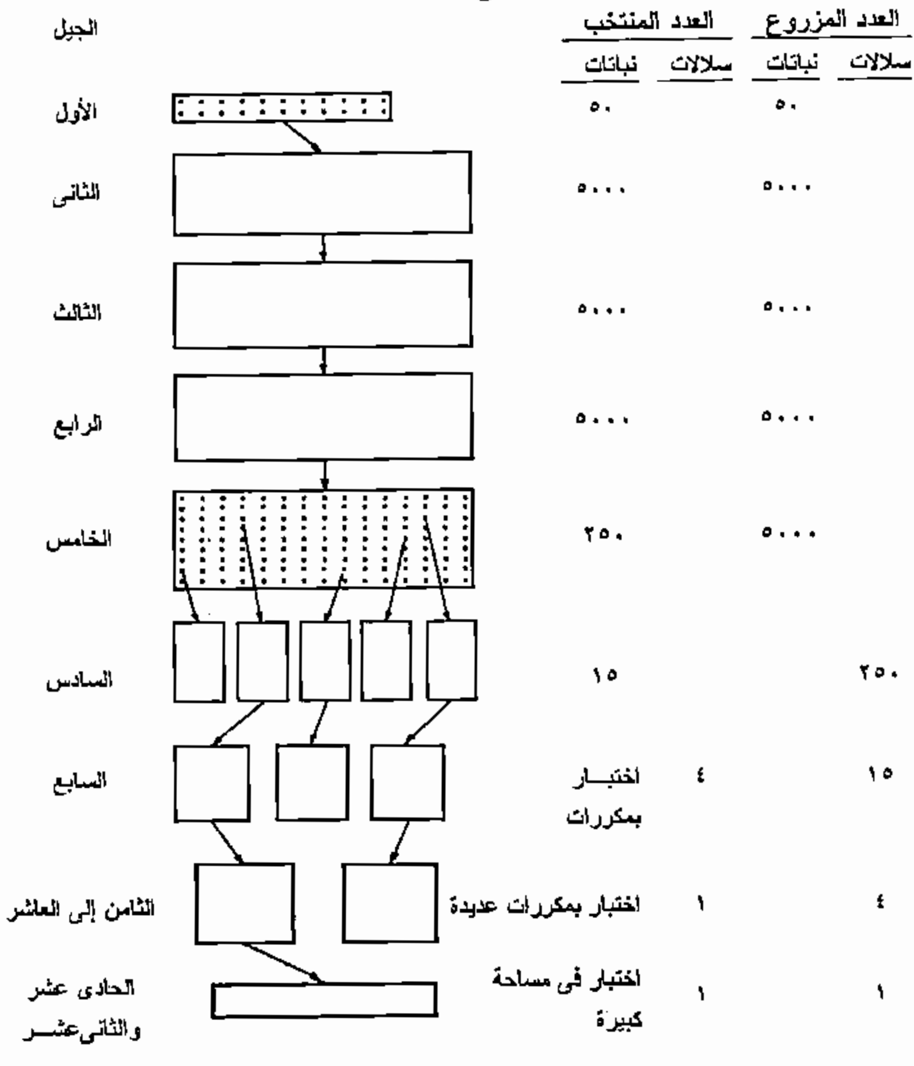
الأجيال الانتخابية

يبدأ الانتخاب في الجيل السادس أو السابع، ويستمر إلى الجيل الثاني عشر، وتعامل النباتات خلال هذه المرحلة كما في المرحلة المماثلة في طريقة انتخاب النسب. وتكون الزراعة في الجيل الذي تبدأ فيه عملية الانتخاب على مسافة أوسع مما في الزراعة التجارية؛ ليمكن دراسة كل نبات على حدة. يعطى كل نبات منتخب سلالة أصيلة ومتجانسة، لا تتغير خصائصها في الأجيال التالية. ورغم أن الأصالة الوراثية لا تكون كاملة في الجيل السادس .. إلا أنها تكون قريبة من ذلك، ولا يحدث في نسل النباتات المنتخبة انعزالات يمكن أن تؤثر في عملية التقييم في الأجيال التالية. وبوصول النباتات إلى الجيل الثاني عشر .. يكون قد انتخبت سلالة واحدة، وهي التي تعطى

اسما، لتصبح صنفًا جديدًا. ويبين شكل (٤-١) تخطيطيًا لخطوات برنامج التربية بطريقة انتخاب التجميع.

التقييم النهائى

يجرى التقييم النهائى للصنف الجديد، بمقارنته بأهم الأصناف التجارية، على مساحة فدان فى كل موقع من خمسة مواقع إنتاجية، وعلى مدى خمس سنوات.



شكل (٤-١): تخطيط لخطوات برنامج التربية بطريقة انتخاب التجميع (عن Briggs & Knowles ١٩٦٧).

دور الانتخاب الطبيعى فى التربية بطريقة انتخاب التجميع

كثيرًا ما يُغالى فى تقدير الدور التى يمكن أن يؤديه الانتخاب الطبيعى فى زيادة نسبة التراكيب الوراثية الأكثر قدرة على البقاء خلال مرحلة الأجيال التى تزرع متجمعة، ولكن الواقع أن هذه الفترة لا تتعدى ستة أجيال، وهى لا تكفى لأن يؤدى الانتخاب الطبيعى دورًا فعالاً فى استبعاد النباتات غير المرغوب فيها. فمن الخطأ - ابتداء - مقارنة الدور الذى يؤديه الانتخاب الطبيعى فى خليط من السلالات الأصيلة بالدور الذى يؤديه خلال فترة الزراعة المتجمعة، ففى الحالة الأولى .. تزيد نسبة السلالات الأكثر قدرة على البقاء على حساب السلالات الأخرى، التى تختفى نهائيًا بعد عدد محدود من الأجيال. أما فى الحالة الثانية .. فإن النباتات تكون خليطة وراثيًا، وتعطى انعزالات كثيرة بصفة مستمرة،فتظهر بذلك تراكيب وراثية جديدة مختلفة جيلاً بعد الآخر، ولا يعطى هذا الوضع فرصة للانتخاب لطبيعى كى يؤدى دوره فى الإبقاء على التراكيب الوراثية المرغوب فيها. وحينما تصل النباتات إلى درجة عالية من الأصالة الوراثية فى الجيل السادس أو السابع .. فإن الزراعة المتجمعة تتوقف حينئذٍ - وتبدأ عملية الانتخاب الصناعى. وحتى فى ذلك الوقت .. فإن عدد السلالات المتنافسة يكون كثيرًا جدًا، بدرجة لا تسمح للسلالات المرغوب فيها بمزاحمة كافة السلالات الأخرى بفاعلية.

وإلى جانب ما تقدم .. فإن الانتخاب الطبيعى قد يكون له تأثيرات سلبية، كما فى الحالات التالية:

١ - قد يؤدى الانتخاب الطبيعى إلى الإبقاء على مجموعة من السلالات التى قد تكون ناجحة وصالحة للبقاء وهى مختلطة مع بعضها، ولكن ذلك لا يعنى أن أيًا منها تكون ناجحة لو زرعت بمفردها بعد ذلك.

٢ - ربما لا تكون السلالات الأكثر قدرة على البقاء هى الأفضل من الوجهة البستانية أو الزراعية. ومن أمثلة ذلك .. أن الانتخاب الطبيعى يكون فى صالح النباتات السريعة الإزهار - كما فى الخس - ويكون فى صالح النباتات التى تنتج بذورًا صغيرة؛ لأنها تتكون بأعداد أكبر مما فى حالة النباتات التى تنتج بذورًا كبيرة، كما فى الفاصوليا.

وتتوقف القدرة على البقاء فى خليط من التراكيب الوراثية على عاملين، هما:

١ – عدد البذور التى ينتجها كل تركيب وراثى.

٢ – نسبة البذور المنتجة التى تعطى نباتات تصل إلى مرحلة الإزهار والإثمار والنضج. فإذا اعتبرنا أن P، و Q تمثلان نسبة تركيبين وراثيين يتنافسان على البقاء، وأن sp، و sq هى قيمة الانتخاب selective value لكل منهما على التوالى، فإنه يمكن حساب نسبتها فى جيلين متعاقبين (n)، و (n+1) بالمعادلة التالية:

$$Pn + 1 = sp\ Pn/T$$

$$Qn + 1 = sq\ Qn/T$$

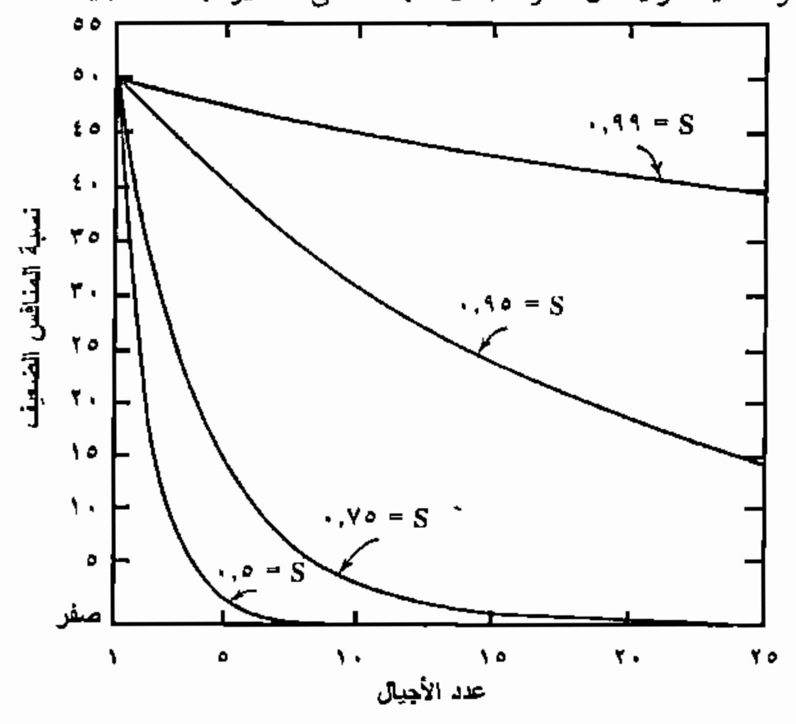
حيث T هى معامل لتعديل النسب بحيث يصبح مجموعها واحدًا صحيحًا.

وكمثال على ذلك (عن Allard ١٩٦٤) .. نفترض أننا خلطنا – معًا – تركيبين وراثيين، هما P، و Q بنسب متساوية، أى إن Po = Qo = ٠,٥، وأن قيمتى الانتخاب للمنافس القوى – وليكن P – والمنافس الضعيف – وليكن Q هما ١,٠، و ٠,٩ على التوالى .. فإننا نجد – بتطبيق المعادلة الخاصة بالمنافس القوى (P) إن نسبته تتغير من ٠,٥ فى الجيل الأول (جيل الأساس) إلى ٠,٥٢٦٣ فى الجيل الثانى، و ٠.٥٥٢٥ فى الجيل الثالث، و ٠,٥٧٨٤ فى الجيل الرابع، و ٠,٦٠٣٩ فى الجيل الخامس. أما نسبة Q (المنافس الضعيف) فإنها تحسب فى أى جيل بالمعادلة التالية:

$$On = 1 - Pn$$

ويبين شكل (٤–٢) النسب النظرية المتوقعة للمنافس الضعيف (Q) حتى ٢٥ جيلاً فى حالات قيم انتخابية (s) تتراوح من ٠.٥ إلى ٠,٩٩؛ علمًا بأن القيمة الانتخابية للمنافس القوى تبقى ثابتة عند ١,٠. ويتضح من الشكل أنه عندما يكون الفرق فى القيم الانتخابية بين التركيبين الوراثيين المتنافسين كبيرًا .. فإن النقص فى نسبة التركيب الوراثى الأقل قدرة على المنافسة (Q) يكون كبيرًا خلال الأجيال الأولى، بينما يقل معدل النقص فى نسبة هذه الأفراد بعد ذلك؛ بحيث لا تختفى الأفراد الأخيرة من المنافس الضعيف إلا ببطء شديد. أما عندما يكون الفرق فى القيم الانتخابية بين التركيبين الوراثيين المتنافسين صغيرًا .. فإن التغير فى نسبة كل منهما يكون صغيرًا على الدوام؛

فمثلاً نجد في حالة اختلاف القيمة الانتخابية بين التركيبين الوراثيين بمقدار ٥٪ فقط (s = ٠,٩٥) أنه يلزم ١٤ جيلاً فقط لخفض نسبة المنافس الضعيف (Q) من ٥٠٪ إلى ٢٥٪، ولكنه يستمر يُشكل نحو ٤٪ من النباتات في العشيرة بعد ٥٠ جيلاً.

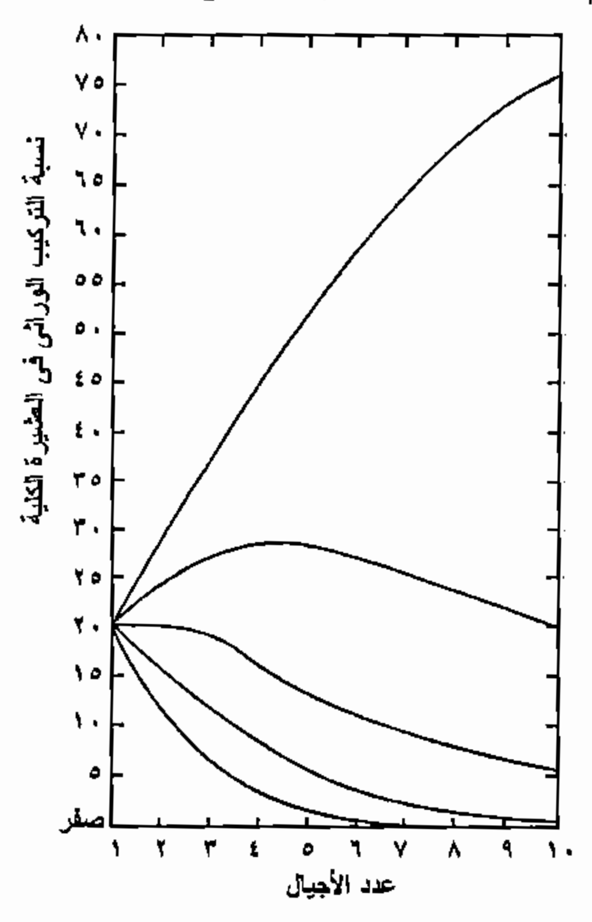


شكل (٤-٢): التغير في نسبة التركيب الوراثي الأقل قدرة على البقاء والمخلوط - ابتداء - بنسبة ٥٠٪ مع تركيب وراثي آخر عند اختلاف القيمة الانتخابية (s) للمنافس الضعيف (عن Allard ١٩٦٤).

وعندما يتنافس أكثر من تركيبين وراثيين على البقاء .. فإن منحنيات نسب أكثر التراكيب الوراثية وأقلها قدرة على البقاء تكون مشابهة لما في الحالة السابقة (حالة تنافس تركيبين وراثيين فقط). أما التراكيب الوراثية الوسطية في القدرة على المنافسة .. فإنها تظل وسطية، وتنخفض نسبتها ببطء إلى أن يقضى على أضعف المتنافسين. وقد ترتفع نسبة بعضها قليلاً، حتى يقترب المنافس الضعيف من الاختفاء. حينئذٍ .. تنخفض نسبته مرة أخرى، بينما تنخفض نسب التراكيب الوراثية الأضعف منه؛ لأن المنافسة تكون محصورة بينها وبين المنافس القوى .. وهكذا تستمر الحال إلى أن يسود المنافس القوى فقط.

ويبين شكل (٤–٣) الوضع الذى تصير إليه نسب خمسة تراكيب وراثية، خلال عشرة أجيال من الانتخاب الطبيعى، علمًا بأنها خلطت فى البداية بنسب متساوية (٠,٢ لكل منها)، وأن التركيبين الوراثيين الأعلى قدرة، والتركيبين الوراثيين الأقل قدرة على البقاء تختلف فى القيمة الانتخابية عن التركيب الوراثى الوسطى بمقدار ٤٠٪، و ٢٠٪ بالزيادة، و ٤٠٪ و ٢٠٪ بالنقص على التوالى.

وتجدر الإشارة إلى أن القيم الانتخابية لا تبقى ثابتة، بل تتغير بتغير العوامل البيئية من موسم إلى آخر. كما أن التفاعل بين العوامل البيئية والتراكيب الوراثية يجعل هذا التغير فى القيم الانتخابية مختلفاً من تركيب وراثى إلى آخر.



شكل (٤–٣): التغير المتوقع فى نسب خمسة تراكيب وراثية مختلطة معًا خلال عشرة أجيال من الانتخاب الطبيعى. انظر المتن للتفاصيل.

طرق التربية المحورة من طريقة انتخاب التجميع

أدْخَلَ بعض مربى النبات تعديلات على التربية بطريقة انتخاب التجميع؛ لجعلها أكثر كفاءة، ونذكر فيما يلى أهم هذه التعديلات.

طريقة انتخاب التجميع المحورة Modified Bulk Method

يتم فى هذه الطريقة انتخاب النباتات التى تحمل الصفات المرغوب فيها سنويًا (خلال فترة الزراعة المتجمعة)، وتخلط بذورها – معًا – لتزرع فى الجيل التالى، ويستمر البرنامج بعد الجيل الخامس أو السادس كالعادة.

طريقة الانتخاب التجميع والنسب Bulk-Pedigree Method

تزرع النباتات فى هذه الطريقة متجمعة، خلال الأجيال الأولى من برنامج التربية؛ إلى أن تكون الظروف البيئية مناسبة لظهور الصفات المرغوب فيها؛ حيث يبدأ – حينئذٍ – انتخاب النباتات الفردية، ثم يستمر برنامج التربية – بعد ذلك – بطريقة انتخاب النسب. وقد تنتهى الزراعة المتجمعة فى الجيل الثانى؛ فتتبع التربية بطريقة انتخاب النسب، أو تدوم إلى الجيل السادس. وفى هذه الحالة .. تكون التربية بطريقة انتخاب التجميع. وتناسب هذه الطريقة الانتخاب لمقاومة الأمراض، حيث يكون الاعتماد على الأوبئة الطبيعية لانتخاب صفة المقاومة.

طريقة انتخاب النسب والتجميع Pedigree-Bulk Method

تتبع فى هذه الحالة طريقة انتخاب النسب فى بداية برنامج التربية إلى أن يتم التخلص من النباتات غير المرغوب فيها، ثم يستمر البرنامج – بعد ذلك – بطريقة انتخاب التجميع.

طريقة انتخاب التجميع الرجعى Bacross-Bulk Method

تتبع هذه الطريقة حينما يكون أحد الآباء المهجنة معًا لبدء برنامج التربية صنفًا تجاريًّا ناجحًا ذا صفات مرغوب فيها، حيث يفضل إجراء تلقيح أو تلقيحين رجعيين معه لجمع أكبر قدر من صفاته قبل الاستمرار فى برنامج التربية بعد ذلك كالمعتاد.

الفصل الخامس

الانتخاب المتكرر

كان Hayes & Garber هما أول من اقترح التربية بطريقة الانتخاب المتكرر فى عام ١٩١٩. كما اقترحها – أيضًا – بدون علم سابق East & Jones فى عام ١٩٢٠. وكان Jenkins هو أول من وصف هذه الطريقة بالتفصيل فى عام ١٩٤٠، وكان Hull هو الذى اقترح لها الاسم الذى تعرف به، وهو الانتخاب المتكرر Recurrent Selection، وكان ذلك فى عام ١٩٤٥ (عن Briggs & Knowles ١٩٦٧).

وتتبع التربية بطريقة الانتخاب المتكرر فى تحسين المحاصيل الخلطية التلقيح، مثل الذرة، والبرسيم الحجازى؛ لأن إكثار الصنف الناتج يعتمد على التلقيح الخلطى العشوائى بين نباتاته، بينما يؤدى التلقيح الذاتى إلى فقدان خصائص الصنف. تناسب هذه الطريقة كثيرًا من المحاصيل الخلطية التلقيح، مثل السبانخ، والبنجر، والجزر.

ولقد حققت تلك الطريقة نجاحًا كبيرًا فى تحسين النباتات الخلطية التلقيح، حيث يسمح التلقيح الخلطى العشوائى الطبيعى بعمل التزاوجات المرغوب فيها بين الأفراد المتميزة التى يُبقى عليها بينما تُزال الأُخرى من الحقل. وفى المقابل .. فإن تطبيق طريقة الانتخاب المتكرر على النباتات الذاتية التلقيح يتطلب جهدًا كبيرًا فى إجراء التلقيحات اللازمة يدويًا، إلا أن ذلك لم يمنع الحصول على نتائج جيدة عند اتباع هذه الطريقة مع النباتات الذاتية التلقيح كذلك (عن Poelham & Sleper ١٩٩٥).

ويعد الانتخاب المتكرر recurrent selection وسيلة لتحسين العشائر صممت لأجل زيادة تكرار الآليلات الخاصة ببعض الصفات الكمية بتكرار إجراء التزاوجات بين التراكيب الوراثية المتميزة فى العشيرة. يتم تحديد وعزل التراكيب المتميزة بعد كل دورة من التزاوجات وإجراء التلقيحات فيما بينها لإنتاج الجيل التالى.

توجد أربعة أنواع رئيسية للانتخاب، هى: الانتخاب المتكرر للشكل الظاهرى،

والانتخاب المتكرر للقدرة العامة على التآلف، والانتخاب المتكرر للقدرة الخاصة على التآلف، والانتخاب المتكرر المتبادل.

الانتخاب المتكرر للشكل الظاهرى

يطلق على طريقة التربية بالانتخاب المتكرر للشكل الظاهرى Recurrent Selection for Phenotype – أيضًا – اسم الانتخاب المتكرر البسيط Simple Recurrent Selection.

وتكون خطواته كما يلى:

١ – ينتخب عدد من النباتات التى تحمل الصفات المرغوب فيها من أحد الأصناف التجارية الهامة الذى قد يكون مفتوح التلقيح، أو هجينًا فرديًا، أو هجينًا زوجيًا، أو صنفًا تركيبيًا. ويكون انتخاب النباتات على أساس الشكل الظاهرى للصفات المرغوب فيها.

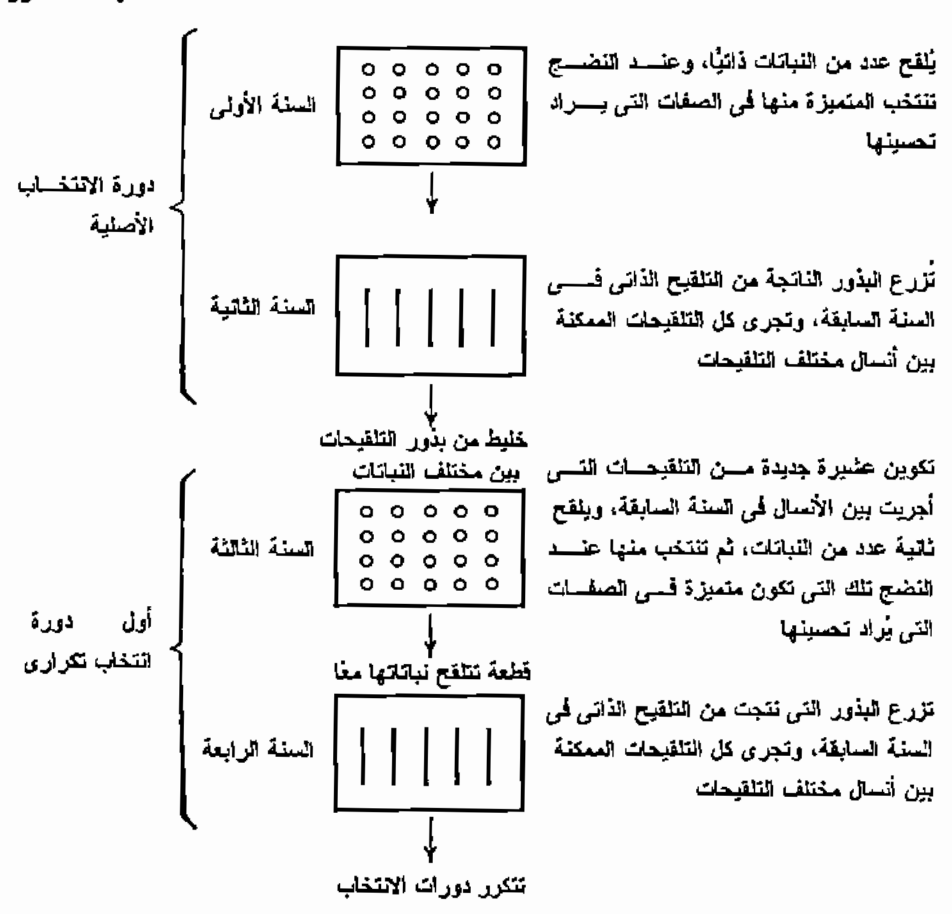
٢ – يلقح كل نبات من النباتات المنتخبة ذاتيًا. وتخلط البذور – معًا – لتكون ما يعرف باسم بذور الأساس لدورة الانتخاب الأولى Syn-I-0.

٣ – تزرع بذور الأساس لدورة الانتخاب المتكرر الأولى فى العام التالى، وتجرى بينها كل التلقيحات الممكنة – يدويًا – ثم تخلط كميات متساوية من بذور كل تلقيح؛ لتكون بذور الجيل الأول لدورة الانتخاب المتكرر الأولى Syn-I-1.

٤ – تبدأ الدورة الثانية للانتخاب بزراعة بذور الجيل الأول لدورة الانتخاب الأولى، ثم تنتخب منها أفضل النباتات، وتلقح ذاتيًا، وتخلط البذور الناتجة – معًا – لتكون بذور الأساس لدورة الانتخاب المتكرر الثانية Syn-II-0.

٥ – تزرع بذور الأساس لدورة الانتخاب المتكرر الثانية؛ لإنتاج بذور الجيل الأول لدورة الانتخاب المتكرر الثانية Syn-II-1 ... وهكذا (شكل ٥–١).

تستكمل كل دورة فى موسمين زراعيين، وتستمر الدورات إلى أن يصبح الانتخاب غير مُجْدٍ. يقتصر استعمال هذه الطريقة فى التربية على تحسين الصفات ذات درجات التوريث المرتفعة، التى يمكن تمييزها على أساس الشكل الظاهرى. أما صفة المحصول والصفات الكمية الأخرى .. فلا يمكن إحراز تقدم كبير فى تحسينها باتباع هذه الطريقة.



شكل (٥-١): تخيط لبرنامج الانتخاب المتكرر للشكل الظاهرى.

إن الميزة الأساسية لهذه الطريقة فى التربية – مقارنة بطرق التربية الأخرى – أن كل دورة انتخاب تسمح بظهور تراكيب وراثية جديدة .. يكون من بينها تراكيب أفضل من تلك التى كانت موجودة فى الجيل السابق؛ ذلك لأنه يتم انتخاب أفضل النباتات فى كل دورة انتخاب، وهى نباتات خليطة – وراثيًّا – بطبيعتها (لأنها من عشيرة محصول خلطى التلقيح)، ويؤدى تلقيحها – ذاتيًّا – إلى المحافظة عليها من التلقيح مع نباتات أخرى غير منتخبة، بينما يؤدى تلقيح أنسالها – معًا – إلى ظهور انعزالات وراثية كثيرة جديدة، يكون من بينها انعزالات فائقة الحدود Transgressive Segregations، تجمع الصفات الممتازة من أبويها؛ وبذا .. توجد فى كل دورة للانتخاب فرصة لظهور تراكيب وراثية أفضل مما ظهر فى الدورة السابقة لها.

وتستمر الحال على هذا الوضع إلى حين الوصول إلى أفضل حالة تـوازن بـين آليـلات الصفات المرغوب فيها .. حينئذ .. يتوقف الانتخاب، ويبدأ إكثار العشيرة النهائية التى تصبح بعدها صنفًا جديدًا .. ويستمر ثبات خصـائص هـذا الصنـف علـى حالـة التـوازن الوراثي التى وصلت إليها العشيرة فى آخر دورة للانتخاب، وبعد جيل واحد من التلقيح الخلطى العشوائى حسب قانون هاردى-فينبرج.

لا تتبع هذه الطريقة – عـادة – فـى تحسـين المحـاصيل الذاتيـة التلقيـح، إلا أنـها استعملت من قِبل Lyons وآخرين (١٩٨٧) فى تحسين صفة المقاومة لفطـر *Sclerotinia sclerotiorum*، المسبب لمرض العفن الأبيض فى الفاصوليا، بنسبة نحو ٥٠٪ فى خـلال دورتين فقط من الانتخاب. وقد اعتمد البـاحثون علـى إجـراء تلقيحـات يدويـة بـين ٢٠ تركيبًا وراثيًا منتخبًا فى كل دورة انتخاب.

الانتخاب المتكرر للقدرة العامة على التآلف

كان Jenkins هو الذى اقترح طريقـة الانتخـاب المتكـرر للقـدرة العامـة علـى التـآلف Recurrent Selection for General Combining Ability، حينما أوضـح طريقـة التقييـم المبكر للقدرة العامة على التآلف. وتختلف هـذه الطريقـة عـن الانتخـاب المتكـرر للشـكل الظاهرى فى أن الانتخـاب يجـرى فـى كـل دورة جديـدة علـى أسـاس قـدرة النباتـات المنتخبة على التآلف مع أحد الأصناف الاختبارية Tester Variety فى تلقيح قمى Top Cross، ويقود البرنامج إلى تحديد التأثيرات الوراثية الإضافية بصفة أسـاسية.

وتكون خطوات برنامج التربية كما يلى:

١ – ينتخب عدد من النباتات التى تحمل الصفات المرغوب فيها من أحد الأصنـاف التجارية الهامة، وهى التى يطلق عليها بذور الأسـاس لبرنامج التربية الداخلية (S_0).

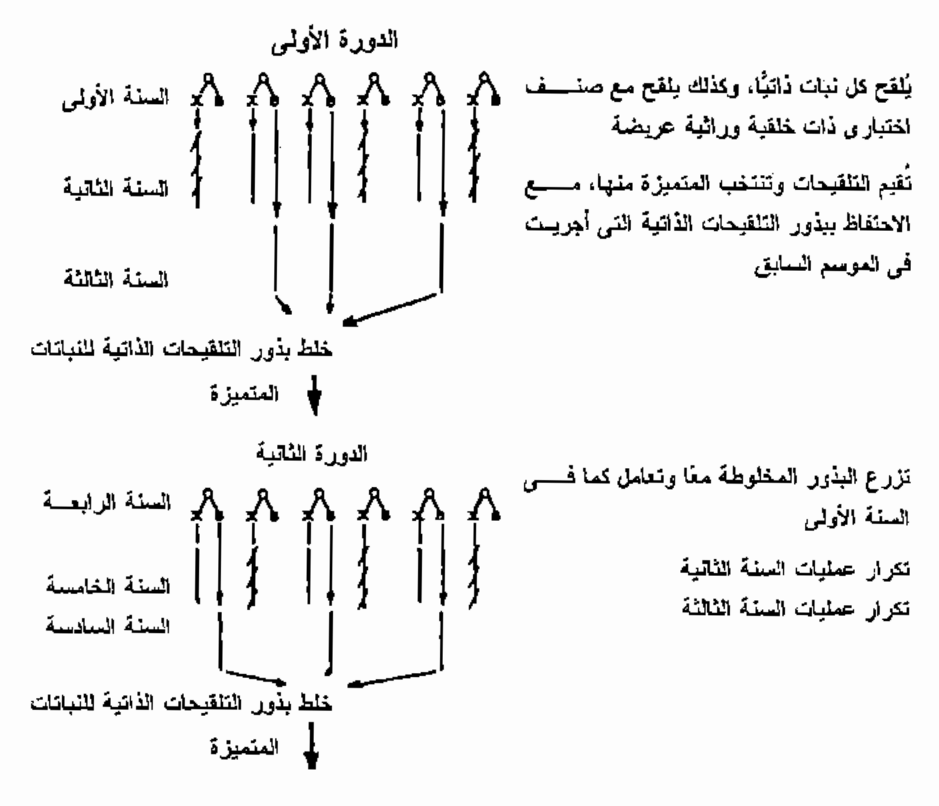
٢ – يلقح كل نبات من النباتات المنتخبة – ذاتيًا – لإنتاج بذور جيل التلقيح الذاتى الأول (S_1)، كما يُلقح كل نبات منها فى الوقت ذاته مع صنف اختبارى يستخدم كأم.

٣ – يحتفظ فى العام التالى ببـذور جيـل التلقيـح الذاتـى الأول، بينمـا تـزرع البـذور الناتجة من التلقيح القمى، ويُقيِّم محصولها. ويسـتفاد من نتائج هـذا التقييـم فـى معرفـة أفضل النباتات التى كانت ذات قدرة عالية على التوافق مع الصنف الاختبارى. وتخلـط

بذور التلقيح الذاتى الأول لهذه النباتات معًا؛ لتشكل بذور الأساس لدورة الانتخاب المتكرر الأولى Syn-I-0.

٤ - تزرع بذور الأساس لدورة الانتخاب المتكرر الأولى فى العام الثالث، وتجرى بينها كل التلقيحات الممكنة يدويًّا، ثم تخلط كميات متساوية من بذور كل تلقيح؛ لتكوّن بذور الجيل الأول لدورة الانتخاب المتكرر الأولى Syn-II-1 ... وهكذا.

تستكمل كل دورة فى ثلاثة مواسم زراعية، وتستمر الدورات إلى أن يتوقف التحسين فى القدرة العامة على التآلف (شكل ٥-٢).



شكل (٥-٢): تخطيط لبرنامج الانتخاب المتكرر للقدرة العامة على التآلف.

هذا .. ويمكن- فى حالة توفر الإمكانات البشرية والمادية - زراعة البذور الناتجة من التلقيح الذاتى فى كل دورة انتخاب مع البذور الناتجة من التلقيح القمى - معًا - فى نفس الموسم؛ فتزرع - على سبيل المثال - بذور جيل التلقيح الذاتى الأول (S_1) مع

البذور الناتجة من التلقيح القمى فى العام الثانى لدورة الانتخاب الأولى. وتلقح نباتات جيل التلقيح الذاتى – ذاتيًا – لإنتاج بذور جيل التلقيح الذاتى الثانى (S_2)، فى الوقت الذى تقيّم فيه النباتات الناتجة من التلقيح القمى. وبناء على نتائج هذا التقييم .. تخلط بذور التلقيح الذاتى الثانى لأفضل النباتات التى كانت ذات قدرة عالية على التوافق مع الصنف الاختبارى؛ لتكوّن معًا بذور الأساس لدورة الانتخاب المتكرر الثانية.

الانتخاب المتكرر للقدرة الخاصة على التآلف

اقترح Hull طريقة الانتخاب المتكرر للقدرة الخاصة على التآلف Recurrent Selection for Specific Combining Ability فى عام ١٩٤٥، وهى تتشابه مع طريقة الانتخاب المتكرر للقدرة العامة على التآلف من جميع الوجوه، فيما عدا أن سلالة أصيلة (مرباة داخليًّا) تستعمل فى التلقيح القمى، بدلاً من الصنف المفتوح التلقيح. وأفضل سلالة لهذا الغرض هى التى يتوقع استعمالها فى هجن فردية مع السلالات التى تنتج من البرنامج. وقد يستعمل هجين فردى معين كصنف اختبارى إذا كان الغرض من البرنامج هو إنتاج سلالات أصيلة، يمكن أن تتآلف معه بدرجة عالية فى هجين زوجى. ويقود هذا البرنامج إلى تحديد كلاً من التأثيرات الإضافية وغير الإضافية للجينات.

ويجب العناية باختيار السلالة الأصيلة التى تستعمل فى التلقيح القمى، مع المحافظة عليها من أى تغير وراثى؛ ذلك لأن البرنامج كله يبنى على أساس إيجاد سلالات متوافقة معها؛ فيجب أن تكون هذه السلالة جيدة أصلاً، وأن تستمر المحافظة عليها دون أى تغير وراثى، وإلا فقد البرنامج قيمته. أما إذا ظهرت فى أثناء البرنامج سلالة أخرى أفضل منها .. فإنه تلزم إعادة العمل من جديد، ويعد ذلك من أكبر عيوب هذه الطريقة للتربية.

الانتخاب المتكرر المتبادل

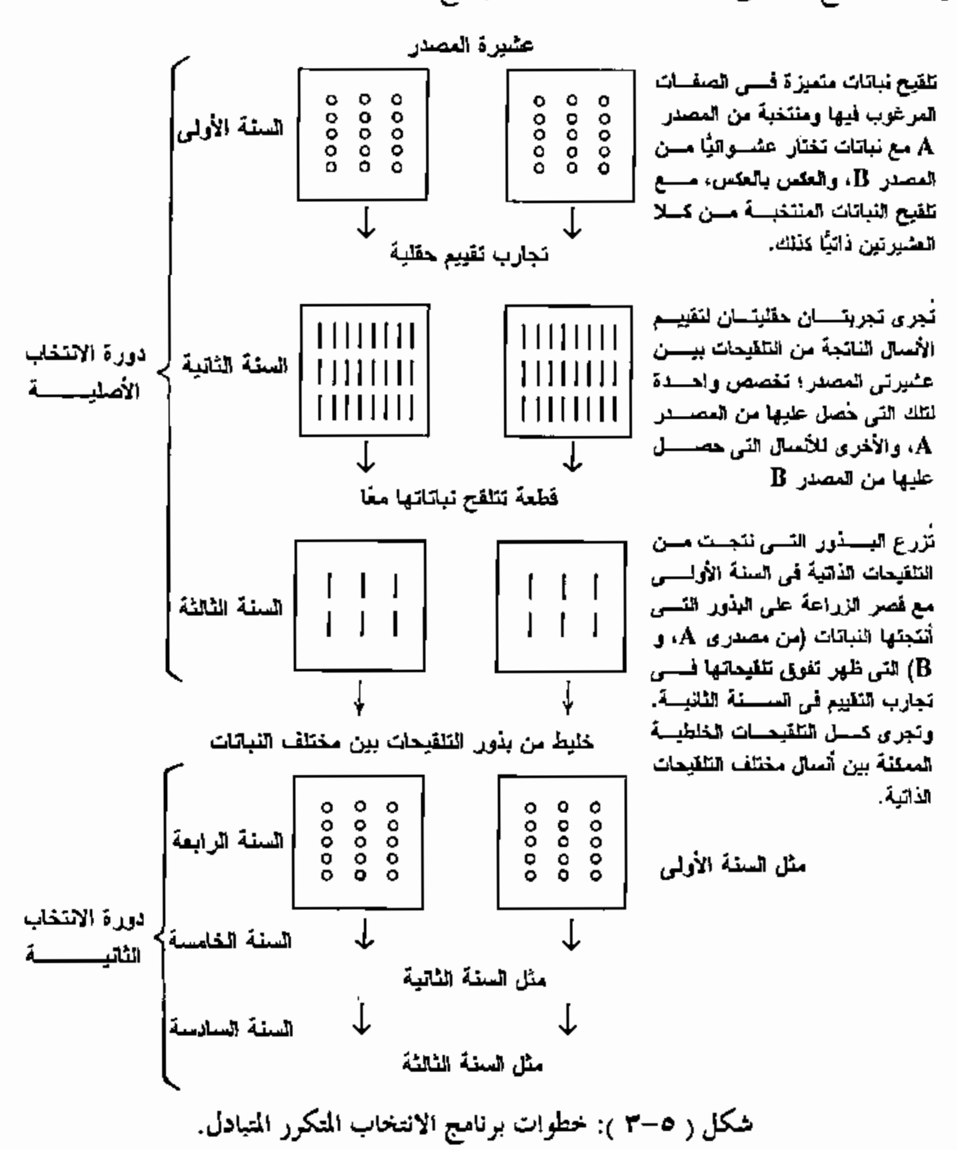
تفيد التربية بطريقة الانتخاب المتكرر المتبادل Reciprocal Recurrent Selection فى تحسين عشيرتين – فى آن واحد – فى كل من القدرة العامة والقدرة الخاصة على التآلف. تتضمن الطريقة وجود عشيرتين من العشائر الوراثية التى تكون على درجة

عالية من الخلط (عدم التماثل) الوراثى؛ مثل الأصناف المفتوحة التلقيح، على ألا يكون بينهما صلة قرابة. تستعمل العشيرتان فى برنامجين منفصلين للتربية، يتشابه كل منهما مع برنامج الانتخاب المتكرر للقدرة العامة على التآلف، مع استعمال كل من العشيرتين - فى الدورة الأولى للتربية - كصنف اختبارى للعشيرة الأخرى فى تلقيحات قمية؛ كما تستعمل النباتات التى تبدأ بها كل دورة تالية من الانتخاب المتكرر فى أى من البرنامجين كصنف اختبارى فى البرنامج الآخر.

وعليه .. فإذا كانت العشيرتان هما A، و B .. فإن أحد البرنامجين يبدأ بتلقيح بعض النباتات من العشيرة A ذاتيًّا، مع تلقيحها - فى الوقت ذاته - مع عينة من نباتات العشيرة B، بينما يبدأ البرنامج الآخر بتلقيح بعض النباتات من العشيرة B ذاتيًّا مع تلقيحها - فى الوقت ذاته - مع عينة من نباتات العشيرة A. ويحتفظ - فى موسم الزراعة التالى - ببذور جيل التلقيح الذاتى الأول (S_1) لكل من العشيرتين، بينما تزرع البذور الناتجة من التلقيحات القمية، ويُقيَّم محصولها. ويستفاد من هذا التقييم فى معرفة أفضل نباتات كل عشيرة، التى كانت ذات قدرة عالية على التوافق مع العشيرة الأخرى. تخلط بذور التلقيح الذاتى الأول - معًا - بالنسبة لكل عشيرة على حدة؛ لتشكل بذلك بذور الأساس لدورة الانتخاب الأولى (Syn A-I-0 بالنسبة للعشيرة A، و Syn-B-I-0 بالنسب للعشيرة B). وتزرع هذه البذور فى موسم الزراعة الثالث، وتجرى بين نباتات كل منهما كل التلقيحات المكنة يدويًّا، ثم تخلط كميات متساوية من بذور كل تلقيح معًا بالنسبة لكل عشيرة على حدة؛ لتكون بذلك بذور الجيل الأول لدورة الانتخاب المتكرر الأولى (Syn-A-I-1 بالنسبة للعشيرة A، و Syn-B-I-1 بالنسبة للعشيرة B).

تستمر دورات الانتخاب المتكرر بعد ذلك مع الاستمرار فى استعمال النباتات التى تبدأ بها كل دورة انتخاب - فى أى من البرنامجين - كصنف اختبارى فى البرنامج الآخر. ويلزم انتخاب عدد كاف من النباتات فى كل دورة انتخاب؛ لتلقيحها ذاتيًّا بغرض الحد من التربية الداخلية وما يصاحبها من تدهور فى قوة النمو. كما يجب - قدر الإمكان - ألا تكون النباتات المنتخبة للتلقيح الذاتى فى كل دورة ذات أصل مشترك، وذلك لأجل تحقيق الهدف نفسه.

وتستخدم السلالات من برنامجى التربية – فى نهاية الأمر – فى إنتاج هجن فردية، أو هجن زوجية، تكون على درجة عالية من التآلف. وتكون الهجن الزوجية بين هجن فردية استخدم فى إنتاجها سلالات من نفس العشيرة؛ فبينما تكون الهجن الفردية هكذا: $A_1 \times B_1$، أو $A_2 \times B_2$ .. فإن الهجين الزوجى يكون هكذا .. $(A_1 \times A_2) \times (B_1 \times B_2)$ علمًا بأن A_1، A_2 ... إلخ .. هى سلالات منتخبة من برنامج العشيرة A، وأن B_1، و B_2 ... إلخ ... هى سلالات منتخبة من برنامج العشيرة B.



شكل (٥–٣): خطوات برنامج الانتخاب المتكرر المتبادل.

الفصل السادس

التهجين الرجعى

تعد طريقة التهجين الرجعى Backcross Method هى طريقة التربية الوحيدة التى تعطى نتائج يمكن التنبؤ بها. وهى تستعمل فى تحسين كل من النباتات الذاتية التلقيح، والنباتات الخلطية التلقيح، ولكن بشروط خاصة فى الحالة الأخيرة. وتتبع طريقة التلقيح الرجعى لتحقيق هدف معين، هو تحسين صنف تجارى ناجح، أو سلالة أصيلة مرغوبة؛ وذلك بأن يضاف إليها - بطريق التلقيح الرجعى - صفة واحدة، أو صفتان أحيانًا، أو ثلاث صفات على الأكثر، من مصدر آخر تتوافر فيه هذه الصفات، ولكنه لا يكون مرغوبًا من الوجهة الزراعية فيما عدا ذلك من صفات، وقد يكون بريًّا.

وتتلخص التربية بطريقة التهجين الرجعى فى تلقيح الصنف الذى يُراد تحسينه - والذى يطلق عليه اسم الأب الرجعى Recurrent Parent - مع الصنف الذى يحتوى على الصفة التى يُراد نقلها - والذى يطلق عليه اسم الأب المعطى Donar Parent؛ ثم تلقيح نباتات الجيل الأول - وكذلك الأجيال التالية التى تحتوى على الصفة التى يُراد نقلها - مع الأب الرجعى.

يلزم لنجاح التربية بطريقة التهجين الرجعى .. أن يكون الأب الرجعى ناجحًا ومرغوبًا فيه وأن تكون الصفة التى يُراد نقلها ذات درجة توريث عالية، وأن يجرى عدد كاف من التلقيحات الرجعية لاستعادة جميع صفات الأب الرجعى. يكتفى عادة بنحو ٥-٦ تلقيحات رجعية، إلا أن العدد قد يصل إلى ١٠ تلقيحات.

ولقد كان Harlan & Pope هما أول من اقترح هذه الطريقة للتربية فى عام ١٩٢٢. وقد استخدمها Briggs فى السنة نفسها لتحسين أصناف القمح والشعير، بإكسابهما صفات المقاومة لبعض الأمراض الهامة.

برنامج التهجين الرجعى لنقل صفة بسيطة سائدة

خطوات برنامج التربية

تكون خطوات برنامج التربية لنقل جين سائد (وليكن A) من الأب المعطى (الذى يكون تركيبه الوراثى AA) إلى الأب الرجعى (الذى يكون تركيبه الوراثى aa) كما يلى:

١ – يلقح الأب الرجعى مع الأب المعطى لإنتاج نباتات الجيل الأول (F_1) التى يكون تركيبها الوراثى Aa.

٢ – تلقح نباتات الجيل الأول – رجعيًا – إلى الأب الرجعى، لإنتاج بذور الجيل الأول للتهجين الرجعى الأول (F_1BC_1) – التى تكون منعزلة فى الصفة التى يراد نقلها –إلى متنحية أصيلة (aa)، وخليطة (Aa) بنسبة ١:١.

٣ – تلقح نباتات الجيل الأول للتهجين الرجعى الأول الحاملة للصفة (أى التى يكون تركيبها الوراثى Aa) رجعيًا إلى الأب الرجعى لإنتاج بذور الجيل الأول للتهجين الرجعى الثانى (F_1BC_2) التى تكون منعزلة – فى الصفة التى يراد نقلها – إلى متنحية أصيلة (aa)، وخليطة (Aa) بنسبة ١:١.

٤ – يستمر برنامج التهجين الرجعى على النحو السابق إلى حين إنتاج بذور الجيل الأول للتهجين الرجعى السادس F_1BC_6، التى تكون هى الأخرى منعزلة – فى الصفة التى يُراد نقلها –إلى متنحية أصيلة (aa)، وخليطة (Aa) بنسبة ١:١.

٥ – تزرع بذور الجيل الأول للتهجين الرجعى السادس، وتستبعد النباتات الحاملة للصفة المتنحية غير المرغوب فيها، وتلقح النباتات الحاملة للصفة السائدة ذاتيًا؛ لإنتاج بذور الجيل الثانى للتهجين الرجعى السادس F_2BC_6 التى تكون منعزلة – فى الصفة التى يُراد نقلها – إلى متنحية أصيلة (aa)، وخليطة (Aa)، وسائدة أصيلة (AA) – بنسبة ١:٢:١.

٦ – تزرع بذور الجيل الثانى للتهجين الرجعى السادس، وتستبعد النباتات التى تكون حاملة للصفة المتنحية غير المرغوبة، وتلقح النباتات الحاملة للصفة السائدة ذاتيًا؛ لإنتاج بذور الجيل الثالث للتهجين الرجعى السادس F_3BC_6.

٧ – تزرع بذور الجيل الثالث للتهجين الرجعى السادس (وهى أنسال النباتات الفردية الحاملة للصفة المرغوب فيها من الجيل الثانى للتلقيح الرجعى السادس).

يلاحظ أن ثلثى الأنسال تنعزل نباتاتها بنسبة ٣ تحمل الصفة السائدة: ١ تحمل الصفة المنتحية، وهى التى تنتج من نباتات الجيل الثانى للتهجين الرجعى السادس (F_2BC_6) التى كان تركيبها الوراثى Aa، وتستبعد جميع هذه الأنسال التى تظهر بها انعزالات فى الصفة التى يُراد نقلها، أما الثلث المتبقى من الأنسال .. فإن جميع نباتاته تكون حاملة للصفة السائدة، ويكون تركيبها الوراثى AA، وتلقح هذه الأنسال ذاتيًا لإنتاج بذور الجيل الرابع للتهجين الرجعى السادس F_4BC_6، وهى التى تخلط معًا، وتشكل بذور المربى Breeder Seed للصنف الجديد، الذى يكون مماثلاً للأب الرجعى فى جميع الصفات، فيما عدا احتوائه على الصفة السائدة المرغوب فيها بحالة أصيلة.

ولكن كيف تُسترد جميع صفات الأب الرجعى بعد أن كان قد لُقح مع الأب المعطى فى بداية برنامج التربية؟ هذا ما نوضحه فى الجزء التالى.

استرداد صفات الأب الرجعى وتتبعها

نظرًا لأن الغرض من برنامج التربية هو إنتاج صنف جديد يماثل الصنف الأصلى (الأب الرجعى) فى جميع الصفات، ولكن مع إضافة الصفة المطلوبة من الأب المعطى؛ لذا .. يكون من المهم تتبع صفات الأب الرجعى خلال أجيال التربية، ويؤدى التلقيح الأول بين الأب الرجعى، والأب المعطى إلى إنتاج جيل، يكون قد تلقى نصف آليلاته (عوامله الوراثية) من الأب الرجعى، والنصف الآخر من الأب المعطى، ويلاحظ عدم وجود فرصة للانتخاب لصفات الأب الرجعى فى هذا الجيل؛ نظرًا لأن نباتاته تكون متجانسة ولا تظهر بينها أية انعزالات وراثية، أما عند تلقيح نباتات الجيل الأول رجعيًا إلى الأب الرجعى فإن النسل الناتج من هذا التلقيح (وهو F_1BC_1) يكون قد تلقى نصف آليلاته (عوامله الوراثية) من الأب الرجعى والنصف الآخر من الجيل الأول، ونظرًا لأن الجيل الأول كان قد تلقى نصف آليلاته من الأب الرجعى؛ لذا .. فإن نباتات الجيل الأول للتلقيح الرجعى الأول تتلقى ٧٥٪ من آليلاتها من الأب الرجعى، بينما تحصل على ٢٥٪ فقط من آليلاتها من الأب المعطى، ومع كل تلقيح رجعى .. تقل نسبة الآليلات المتحصل عليها من الأب المعطى بمقدار النصف؛ لتصبح ١٢,٥٪ فى الجيل

الأول للتلقيح الرجعى الثانى F_1BC_2، و ٦,٢٥٪ فى الجيل الأول للتلقيح الرجعى الثالث F_1BC_3 ... وهكذا، وترتفع فى الوقت ذاته نسبة الآليلات المتحصل عليه من الأب الرجعى؛ لتصبح ٨٧,٥٪ فى الـ F_1BC_2، و ٩٣,٧٥٪ فى الـ F_1BC_3 ... وهكذا.

والمعادلة العامة لذلك – فى غياب الانتخاب لصفات الأب الرجعى، والارتباط بين الصفة التى يراد نقلها، وصفات أخرى غير مرغوبة – هى كما يلى:

نسبة الآليلات المتحصل عليها من الأب الأصلى المعطى = $(^{١}/_{٢})^{ت+١} \times ١٠٠$

حيث تمثل (ت) عدد التلقيحات الرجعية (فمثلاً .. ت = صفر للتلقيح الأصلى بين الأب الرجعى والأب المعطى، و ١ للتلقيح الرجعى الأول ... وهكذا).

أما نسبة الآليلات المتحصل عليه من الأب الرجعى .. فيحصل عليها بطرح نسبة الآليلات المتحصل عليها من الأب المعطى من مئة.

فلو فرض أن أجريت ستة تلقيحات رجعية .. تكون ت = ٦، وتكون نسبة الآليلات المتحصل عليها من الأب المعطى = $(^{١}/_{٢})^{٦+١} \times ١٠٠$ = ٠,٧٨٪، وتكون نسبة الآليلات المتحصل عليها من الأب الرجعى = ١٠٠ – ٠,٧٨٪ = ٩٩,٢٢٪ بعد ستة تلقيحات رجعية، وتصل هذه النسبة إلى ٩٩,٩٥٪ بعد ١٠ تلقيحات رجعية.

ويبين جدول (٦–١) نسبة جينات الأب الرجعى فى مختلف أجيال برنامج للتربية بطريقة التهجين الرجعى، وذلك فى غياب الارتباط. ونتناول الموضوع بالشرح – فى حالة وجود الارتباط – فى موضع لاحق من هذا الفصل.

يتضح مما تقدم بيانه أن التلقيحات الرجعية تؤدى فى نهاية الأمر إلى استرداد جميع صفات الأب الرجعى. ومع ذلك .. فإنه يمكن الإسراع فى استرجاع هذه الصفات، بانتخاب النباتات التى تكون أقرب فى صفاتها إلى الأب الرجعى خلال الأجيال الأولى من برنامج التربية. ومن المعتقد أن كل دورة من الانتخاب لصفات الأب الرجعى تعادل – فى فاعليتها – تلقحين رجعيين. ويكون الانتخاب لصفات الأب الرجعى غير مُجْدٍ – عادة – بعد التلقيح الرجعى الثالث؛ لأن النباتات تكون قد أصبحت متجانسة إلى حد كبير.

جدول (٦-١): نسبة جينات الأب الرجعى فى مختلف أجيال برنامج للتربية بطريقة التهجين الرجعى.

جيل التهجين الرجعى	الجينات المتحصل عليها من الأب الرجعى (٪)
F_1	٥٠
BC_1	٧٥
BC_2	٨٧,٥
BC_3	٩٣,٧٥
BC_4	٩٦,٨٧٥
BC_5	٩٨,٤٣٨
BC_6	٩٩,٢١٨
BC_7	٩٩,٦٠٩
BC_8	٩٩,٨٠٥
BC_9	٩٩,٩٠٢
BC_{10}	٩٩,٩٥١

هذا .. ولا يؤثر التلقيح الذاتى بعد أى تلقيح رجعى على نسبة الآليلات المتحصل عليها من الأب الرجعى؛ حيث تبقى كما هى، إلاّ إذا أخضع النسل الناتج من التلقيح الذاتى للانتخاب، ويكون للانتخاب لصفات الأب الرجعى - فى هذه الحالة - نفس التأثير الذى سبق بيانه.

وعادة .. يتكون الأب الرجعى من خليط من السلالات النقية (فى حالة المحاصيل الذاتية التلقيح)، كما أن تلك السلالات (وكذلك السلالات المرباة داخليًا من المحاصيل الخلطية التلقيح، والتى قد يرغب فى تحسينها بطريقة التهجين الرجعى) تحتوى - غالبًا - على قدر يسير من عدم الأصالة الوراثية، حتى وإن لم تكن ظاهرة؛ مما يستدعى المحافظة على ذلك التباين الوراثى فى برامج التربية بالتهجين الرجعى. ويتحقق ذلك باستعمال عدد كاف من نباتات الأب الرجعى فى كل تلقيح رجعى لكى تمثل ما يوجد به من اختلافات، ولكى يمكن استعادة جميع صفاته، ولذلك أهمية خاصة فى التلقيح الرجعى الأخير؛ حيث يجب ألا يقل عدد نباتات الصنف الرجعى التى تستخدم فى هذا التلقيح عن ٣٠ نباتًا.

أهمية تتبع الصفات المنقولة

إن الهدف من برنامج التربية كله هو نقل صفة معينة مرغوب فيها إلى صنف جيد تنقصه هذه الصفة، لذا .. فإن تتبع هذه الصفة يجب أن يكون هو الهدف الأول للمربى فى جميع مراحل التربية، فيجب توخى الحرص التام على أن تكون النباتات المنتخبة لتلقيحها – رجعيًا – تحتوى – فعلاً – على الصفة التى يُراد نقلها، وبالتركيز الذى توجد عليه فى الأب المعطى. ويؤدى الفشل فى انتخاب هذه النباتات فى أية مرحلة من مراحل برنامج التربية إلى ضياع كل الجهود السابقة لتلك المرحلة، إن لم يوجد لدى المربى احتياطى من البذور فى كل جيل، لإعادة التقييم، والانتخاب – عند الضرورة – للصفة التى يراد نقلها.

وتجدر الإشارة إلى أن الانتخاب لصفات الأب الرجعى لا يمارس إلاّ على النباتات التى تحمل الصفة المنقولة، أى تحدد – أولاً – النباتات التى تحمل الصفة التى يراد نقلها فى كل جيل، ثم تنتخب من بينها النباتات التى تكون أقرب فى صفاتها إلى الأب الرجعى؛ وذلك لأن جميع صفات الأب الرجعى يمكن أن تسترجع – تلقائيًّا بالتلقيح الرجعى – دون أى انتخاب بينما يمكن أن تفقد الصفة التى يراد نقلها – بسهولة – إن لم يجر التقييم بعناية؛ لمعرفة النباتات الحاملة لها لتلقيحها رجعيًّا.

مدى الحاجة إلى التلقيح الذاتى بعد كل جيل من أجيال التلقيح الرجعى

عندما يكون الأمر متعلقًا بنقل صفة بسيطة سائدة بطريقة التهجين الرجعى .. فإنه لا توجد حاجة إلى إجراء التلقيح الذاتى بعد أى من التلقيحات الرجعية، باستثناء التهجين الرجعى الأخير كما سبق بيانه. ويرجع ذلك إلى أن جميع النباتات التى تهجن – رجعيًّا – فى أى جيل تكون دائمًا خليطة بالنسبة للصفة التى يُراد نقلها؛ أى إنها تحمل الآليل المرغوب.

هذا .. إلا أن التلقيح الذاتى بعد التلقيحات الرجعية يكون أمرًا مرغوبًا فيه فى الحالتين التاليتين:

١ – فى الأنواع التى يصعب إجراء التلقيح الصناعى فيها .. خاصة، حينما لا يعطى

التلقيح سوى بذرة واحدة أو عدد قليل من البذور؛ حيث يوصى - فى هذه الحالة - بإنتاج الجيلين الثانى والثالث بعد كل تلقيح رجعي؛ لإتاحة الفرصة لانتخاب نباتات تحتوى على الصفة التى يُراد نقلها مع أكبر قدر ممكن من صفات الأب الرجعى.

٢ - فى الحالات التى يكون فيها الأب المعطى بريًا، أو يحتوى على صفات كثيرة غير مرغوب فيها، حيث يوصى - فى هذه الحالة - بإنتاج الجيلين الثانى والثالث بعد كل من التلقيح الرجعى الأول، والثالث، والسادس لإتاحة فرصة أكبر لانتخاب صفات الأب الرجعى.

وبالإضافة إلى ما تقدم بيانه .. فإن التلقيح الذاتى يكون ضروريًا فى حالات نقل الصفات المتنحية، والكمية، وذات درجات التوريث المنخفضة كما سيأتى بيانه فيما بعد.

عدد التلقيحات الرجعية اللازمة

يختلف عدد التلقيحات الرجعية التى تجرى - عادة - من ثلاثة إلى عشرة، ويكتفى بالعدد القليل من التلقيحات الرجعية فى الحالات التالية:

١ - عندما يكون الأب المعطى صنفًا تجاريًا يحتوى على بعض الصفات الأخرى الهامة، التى يُرغب فى الاحتفاظ بها فى الصنف الجديد.

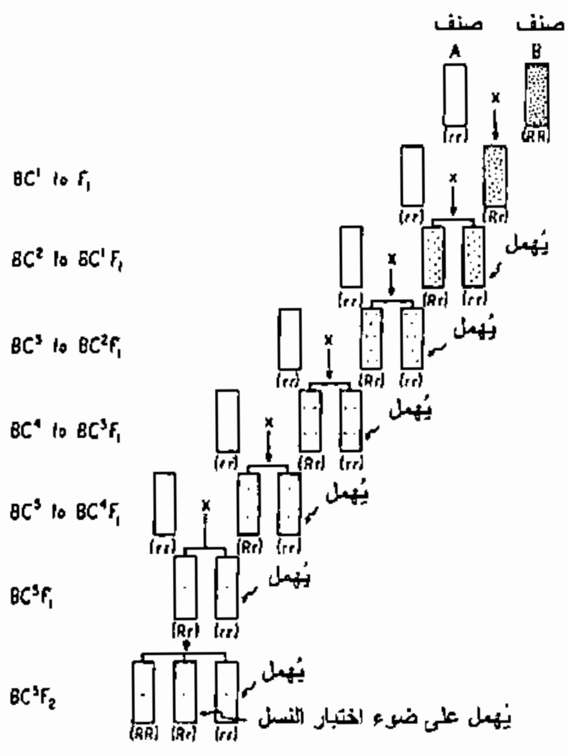
٢ - عندما لا توجد اختلافات كثيرة بين الأب الرجعى والأب المعطى.

٣ - عندما تكون الصفة التى يُراد نقلها مرتبطة بصفات أخرى غير مرغوب فيها؛ حيث يفضل فى هذه الحالة الاكتفاء بثلاثة تلقيحات رجعية لإنتاج الجيل الأول للتلقيح الرجعى الثالث F_1BC_3 الذى تكون نباتاته قد تلقت ٩٣,٧٥٪ من آليلاتها (عواملها الوراثية) من الأب الرجعى، ثم يجرى عليها التلقيح الذاتى لعدة أجيال بعد ذلك؛ لإعطاء فرصة لحدوث عبور يؤدى إلى كسر الارتباط بين الآليل الذى يتحكم فى الصفة التى يراد نقلها، والآليلات التى تتحكم فى الصفات الأخرى غير المرغوبة.

ونجد فى الحالات السابقة أن الصنف الجديد لا يكون تام التشابه مع الأب الرجعى نظرًا لأنه لا يتم استعادة كل صفاته، إما عن قصد كما فى الحالتين الأولى والثانية، وإما لكسر ارتباط غير مرغوب فيه كما فى الحالة الثالثة.

وإذا أجريت ستة تلقيحات رجعية مع الانتخاب الشديد لصفات الأب الرجعي في الأجيال الأولى من برنامج التربية .. فإن ذلك يكون كافيًا لاستعادة كل صفات الأب الرجعي تقريبًا؛ لأن كل دورة من الانتخاب لصفات الأب الرجعي تعادل تلقيحًا أو تلقحين رجعيين، أما عند إجراء عشرة تلقيحات رجعية .. فإن الصنف الجديد يكون مماثلاً للصنف الأصلي، فيما عدا الصفة التي نقلت إليه، ويعدّ ذلك ضروريًا عندما يكون في النية إعطاء الصنف الجديد اسم الصنف السابق نفسه مضافًا إليه رقمًا أو حرفًا، كما يكون ضروريًا كذلك عندما يكون الأب المعطي سلالة غير مزروعة أو نوعًا بريًا يحتوي على صفات كثيرة غير مرغوبة (عن Allard ١٩٦٤، و Briggs & Knowles ١٩٦٧).

هذا .. ويبين شكل (٦-١)، وجدول (٦-٢) مختلف خطوات برنامج التربية لنقل صفة بسيطة سائدة بطريقة التهجين الرجعي، مع بيان بالانعزالات الوراثية المتوقعة والتدرج في استعادة مختلف صفات الأب الرجعي خلال برنامج التربية.



شكل (٦-١): تخطيط لبرنامج تربية بطريقة التهجين الرجعي، لنقل صفة بسيطة سائدة.

جدول (٦-٢): نقل صفة سائدة بطريقة التهجين الرجعى.

الموسم والعشيرة المزروعة	التراكيب الوراثية (أ) الأب	الأم	العشيرة المنتجة الجيل	التراكيب الوراثية	النسبة المئوية لجينات الأب المتكرر
١ - التلقيح الأولى	RR ×	Rr	F_1	Rr	٥٠
٢ - F_1	rr ×	Rr	BC_1	1Rr : 1rr	٧٥
٣ - BC_1	rr ×	Rr	BC_2	1Rr : 1rr	٨٧,٥٠
٤ - BC_2	rr ×	Rr	BC_3	1Rr : 1rr	٩٣,٧٥
٥ - BC_3	rr ×	Rr	BC_4	1Rr : 1rr	٩٦,٨٧
٦ - BC_4	rr ×	Rr	BC_5	1Rr : 1rr	٩٨,٤٤
٧ - BC_5	rr ×	Rr	BC_6	1Rr : 1rr	٩٩,٢٢
٨ - BC_6	تلقيح ذاتى لـ Rr		F_2BC_6	1rr:2Rr:1rr	ينتخب RR، و Rr
٩ - F_2BC_6	تلقيح ذاتى لكل من:		F_3BC_6		
	RR			RR	ينتخب وتخلط البذور
	و Rr			1RR:2Rr:1rr	تستبعد كل الأنسال المنعزلة

(أ) الأب المتكرر (الرجعى rr)، والأب المعطى RR. تنتخب للاستعمال كأمهات أكثر الأفراد قربًا فى صفاتها مع صفات الأب المتكرر.

أعداد النباتات التى تلزم زراعتها خلال برنامج التربية

يتوقف احتمال الحصول على نباتات تحتوى على الجينات المرغوب فيها أثناء التهجين الرجعى على النسبة المتوقعة للأفراد التى تحمل تلك الجينات وعلى عدد الأفراد المزروعة والمتاحة للتقييم، ويمكن حساب تلك النسب، كما يمكن الحصول عليها من جدول (٦-٣).

وبالنسبة للحالات التى لا يشملها جدول (٦-٣)، فإنه يمكن الحصول على العدد المناسب من النباتات التى يتعين زراعتها بالمعادلة التالية:

$$n = \left\{ [\, 2(r - 0.5) + z^2(1 - q)] + z\, [z^2(1-q)^2 + 4(1 - q)\,(r - 0.5)\,]^{1/2} \right\} / \, 2q$$

حيث إن:

n = العدد الكلى من النباتات التى تلزم زراعتها.

r = العدد المطلوب من النباتات التى تحمل الجينات المرغوب فيها.

q = نسبة النباتات التى تحمل الجينات المرغوب فيها.

p = احتمال ظهور العدد المطلوب من النباتات التى تحمل الجينات المرغوب فيها.

z = قيمة هى دالة للاحتمال p.

وتكون قيمة z، هى: ١,٦٤٥ عند p = ٠,٩٥، و ٢,٣٢٦ عند p = ٠.٩٩ (عن Fehr ١٩٨٧).

جدول (٦-٣): العدد الكلى للنباتات التى تلزم زراعتها للحصول على العدد المرغوب من النباتات التى تحتوى على الجينات المرغوب فيها (عن Fehr ١٩٨٧).

p	q	r (عدد النباتات المطلوبة التى تحتوى على الجينات المرغوب فيها)								
		١	٢	٣	٤	٥	٦	٨	١٠	١٥
٠,٩٥	١/٢	٥	٨	١١	١٣	١٦	١٨	٢٣	٢٨	٤٠
	١/٣	٨	١٣	١٧	٢١	٢٥	٢٩	٣٧	٤٤	٦٢
	١/٤	١١	١٨	٢٣	٢٩	٣٤	٤٠	٥٠	٦٠	٨٤
	١/٨	٢٣	٣٧	٤٩	٦٠	٧١	٨٢	١٠٣	١٢٣	١٧٢
	١/١٦	٤٧	٧٥	٩٩	١٢٢	١٤٤	١٦٦	٢٠٨	٢٤٨	٣٤٧
	١/٣٢	٩٥	١٥٠	٢٠٠	٢٤٦	٢٩١	٣٣٤	٤١٨	٥٠٠	٦٩٧
	١/٦٤	١٩١	٣٠٢	٤٠١	٤٩٤	٥٨٤	٦٧١	٨٣٩	١٠٠٢	١٣٩٧
٠,٩٩	١/٢	٧	١١	١٤	١٧	١٩	٢٢	٢٧	٣٢	٤٥
	١/٣	١٢	١٧	٢٢	٢٧	٣١	٣٥	٤٤	٥٢	٧١
	١/٤	١٧	٢٤	٣١	٣٧	٤٣	٤٩	٦٠	٧٠	٩٦
	١/٨	٣٥	٥١	٦٤	٧٧	٨٩	١٠١	١٢٤	١٤٦	١٩٨
	١/١٦	٧٢	١٠٤	١٣٢	١٥٨	١٨٢	٢٠٦	٢٥٢	٢٩٦	٤٠٢
	١/٣٢	١٤٦	٢١٠	٢٦٦	٢١٦	٢٦٨	٣١٦	٥٠٨	٥٩٧	٨٠٩
	١/٦٤	٢٩٣	٤٢٣	٥٣٥	٦٤٠	٧٣٩	٨٣٥	١٠٢٠	١١٩٨	١٦٢٣

p = احتمال الحصول على عدد r من النباتات التى تحمل الجينات المرغوب فيها.

q = نسبة النباتات التى تحمل الجينات المرغوب فيها.

وعند الرغبة في ألا تزيد احتمالات الخطأ عن ٠,٠٠١٪، فإن أعـداد النباتـات التـى تجب زراعتها في كل جيل من برنامج التربية – عند الرغبة في نقل صفة بسيطة سائدة (AA) إلى الأب الرجعى – تكون على النحو التالى (عن Allard ١٩٦٤):

٥٣ نباتًا من كل تلقيح رجعى (BC_n).

٩٦ نباتًا من كل جيل ثان بعد أى تلقيح رجعى (F_2BC_n).

٦٨ عائلة من الجيل الثالث لأى تلقيح رجعى (F_3BC_n)، بكل منها ٢٤ نباتًا.

تعنى زراعة هذه الأعداد من النباتات احتمال قدره ٠,٩٩٩ لظهور نبـات واحـد علـى الأقل تركيبه الوراثى Aa بعد كـل تلقيـح رجعـى، أو نبـات واحـد علـى الأقـل تركيبـه الوراثى (AA) فى الجيل الثالث لأى تلقيح رجعى، كما تتيح زراعـة هـذه الأعـداد مـن النباتات فرصة أكبر لانتخاب صفات الأب الرجعى.

هذا .. ويجب أن تؤخذ نسبة إنبات البذور فى الحسبان عند تحديـد عـدد البـذور التى يتعين زراعتها، حيث تحسب كما يلى:

عدد البذور التى يتعين زراعتها = عدد النباتات المطلوبـة/نسـبة الإنبـات (عـن Fehr ١٩٨٧).

تأثير التلقيح الرجعى فى الأصالة الوراثية

كما أن التلقيح الرجعى يؤدى إلى استرجاع جميع صفات الأب الرجعى .. فإنه يؤدى كذلك إلى زيادة نسبة الأصالـة الوراثيـة – تدريجيًـا – فـى حالـة إجـراء البرنـامج علـى النباتات الذاتيـة التلقيـح. ويمكن الاستدلال على درجة الأصالـة الوراثيـة فـى أى جيـل من المعادلة التالية:

$$\text{نسبة التراكيب الوراثية الأصيلة} = \left(\frac{٢^{م} - ١}{٢^{م}}\right)^{ن} \times ١٠٠$$

حيث تمثل (م) مجموع عدد التلقيحات الرجعية والذاتيـة التـى سـبقت الوصـول إلى الجيل الذى يُـراد حسـاب نسـبة التراكيب الوراثيـة الأصيلـة فيـه، و (ن) عـدد أزواج العوامل الوراثية التى يختلف فيـها الأب الرجعـى عـن الأب المعطـى. وتلـك هـى نفـس

لمعدلة التي تستخدم في حساب نسبة التراكيب الوراثية الأصيلة مع التلقيح الذاتي. وهي تطبق في هذا المقام، لأن التلقيح الرجعي لا يختلف من حيث تأثيره في الأصالة الوراثية – عن التلقيح الذاتي. ويعني ذلك أن الجيل الرابع للتلقيح الرجعي السادس (F_3BC_6) – الذي تم التوصل إليه في برنامج التربية المشروح آنفًا لنقل صفة بسيطة سائدة – تكون فيه م = ٦ (تلقيحات رجعية) + ٣ (تلقيحات ذاتية) = ٩.

هذا .. ويكون من غير الممكن تطبيق هذه المعادلة في معظم برامج التربية بالتهجين الرجعي، نظرا لأن الأبوين: الرجعي، والمعطي يختلفان – عادة – في عدد كبير – غير معلوم – من العوامل الوراثية، وبذا .. تكون (ن) غير معلومة القيمة.

ويبين جدول (٦–٤) نسبة الأفراد التي تكون أصيلة في آليلات الأب المتكرر خلال برنامج التربية عند اختلافه عن الأب المعطي في عدد معلوم من الجينات.

جدول (٦–٤): نسبة الأفراد التي تكون أصيلة في آليلات الأب المتكرر خلال مراحل برنامج التربية بالتهجين الرجعي (عن Fehr ١٩٨٧).

عدد الجينات التي يختلف فيها الأبوين	جيل التهجين الرجعي					
	١	٢	٣	٤	٥	٦
١	٥٠	٧٥	٨٨	٩٤	٩٧	٩٨
٢	٢٥	٥٦	٧٧	٨٨	٩٤	٩٧
٥	٣	٢٤	٥١	٧٢	٨٥	٩٢
١٠	٠.١	٦	٢٦	٥٢	٧٣	٨٥

المحافظة على الصفات الوراثية التي تنتقل عن طريق السيتوبلازم

نظرا لأن السيتوبلازم في الخلايا النباتية ينتقل عن طريق الجاميطة المؤنثة، لذا نجد أن السيتوبلازم في السلالات الناتجة من برامج التربية بطريقة التهجين الرجعي يكون مماثلاً لسيتوبلازم النباتات التي تستعمل كأمهات في التلقيح الأول (الأصلي) وفي التلقيحات الرجعية التالية له. ولذلك أهمية كبيرة بصفة خاصة عند استعمال العقم الذكري الوراثي السيتوبلازمي في إنتاج بذور الهجن. فالسلالات الخصبة الذكر ذات السيتوبلازم الطبيعي والتي تخلو من جين استعادة الخصوبة (سلالات B) يمكن تحويلها

إلى سلالات ذات سيتوبلازم عقيم (سلالات A)، ومن ثم يمكن استعمالها كأمهات عقيمة الذكر فى التلقيحات.

وإذا ما رُغِبَ فى استعادة سيتوبلازم الأب المعطى (غير المتكرر) – حتى ولو لم يكن لذلك علاقة بالعقم الذكرى السيتوبلازمى – فإن الأب المعطى يجب أن يستعمل كأم فى التهجين الأولى، مع استعمال الأب المتكرر (الرجعى) كأب فى جميع التلقيحات الرجعية التى تلى ذلك.

أما الحصول على سيتوبلازم الأب المتكرر فى السلالات النهائية فيمكن تحقيقه باستعمال هذا الصنف كأم فى التهجين الأولى أو فى أى واحد من التلقيحات الرجعية التالية لذلك (عن Fehr ١٩٨٧).

برنامج التهجين الرجعى لنقل الصفات فى الحالات الأخرى

كانت حالة نقل صفة بسيطة سائدة التى سبق شرحها أبسط الحالات التى يجرى فيها برنامج التربية بالتهجين الرجعى؛ لسهولة تمييز النباتات التى تحمل الصفة التى يُراد نقلها بعد كل تلقيح رجعى مباشرة. ولا يختلف برنامج التربية بالتهجين الرجعى لنقل أية صفة أخرى – فى جوهره – عما سبق بيانه بالنسبة للصفة البسيطة السائدة، وتنحصر أوجه الاختلاف – دائمًا – فيما يجب عمله لمعرفة النباتات التى تحمل الصفة المرغوب فيها خلال أجيال التربية.

نقل صفة بسيطة ذات سيادة غير تامة

عندا تكون الصفة المراد نقلها بسيطة، وذات سيادة غير تامة (Incomplete Dominance) – أى حينما يكون الفرد الخليط (Aa) متميزًا فى شكله المظهرى عن الفردين: السائد الأصيل (AA)، والمتنحى الأصيل (aa) – فإن تمييز النباتات الحاملة للتركيب الوراثى المرغوب يكون أسهل لغياب السيادة. ولا يوجد – فى هذه الحالة – أى داع للتلقيح الذاتى بعد أى تلقيح رجعى، سوى بعد التلقيح الرجعى الأخير – وليكن السادس F_1BC_6 الذى تظهر فيه نباتات متنحية أصيلة (aa) وخليطة (Aa) بنسبة ١:١

فإذا كانت الصفة المرغوبة هى المتنحية .. تستعمل النباتات الحاملة لهذه الصفة مباشرة، كبذور مربى لإكثار الصنف الجديد. أما إذا كانت الصفة المرغوبة هى السائدة .. فإنه يلزم فى هذه الحالة تلقيح النباتات التى تحمل الصفة بحالة خليطة (Aa) تلقيحًا ذاتيًا لإنتاج الجيل الثانى للتلقيح الرجعى السادس (F_2BC_6)، الذى تنعزل فيه النباتات إلى متنحية أصيلة (aa) وخليطة (Aa)، وسائدة أصيلة (AA) بنسبة ١:٢:١، وتستعمل الفئة الأخيرة من النباتات (وهى السائدة الأصيلة) كبذور مربٍ، حيث يمكن تمييزها عن النباتات الخليطة لغياب السيادة.

نقل صفة بسيطة متنحية

تُتبع فى نقل الصفة البسيطة المتنحية نفس الخطوات التى سبق بيانها بالنسبة للصفة البسيطة السائدة، مع مراعاة أن تحمل النباتات المتنحية فى كل جيل – لتلقيحها رجعيًا – آليلاً واحدًا على الأقل للصفة المتنحية التى يراد نقلها؛ أى إن هذه النباتات إما أن تكون خليطة Aa، وإما متنحية أصيلة aa. ونظرًا لأن نباتات الجيل الأول (التى تنشأ من تلقيح الأب المعطى aa مع الأب الرجعى AA) تكون خليطة (Aa)؛ لذا .. فإنها تلقح رجعيًا مباشرة لإنتاج نباتات الجيل الأول للتلقيح الرجعى الأول F_1BC_1، وهى التى تنعزل إلى خليطة (Aa)، وسائدة أصيلة (AA) بنسبة ١:١، ولكنها تكون جميعها متشابهة مظهريًا.

وهنا يتعين على المربى أن يتبع إحدى ثلاث طرق لضمان استمرار وجود الأليل المتنحى (a) فى النباتات التى تلقح رجعيًا، وهى كما يلى:

١ – تلقيح كل نبات من نباتات الجيل الأول للتلقيح الرجعى الأول F_1BC_1 ذاتيًا؛ لإنتاج بذور الجيل الثانى للتلقيح الرجعى الأول F_2BC_1: تنقسم الأنسال المتنحية إلى فئتين متساويتين: فئة تظهر بجميع نباتاتها الصفة السائدة، وهى التى تنتج من التلقيح الذاتى للنباتات السائدة الأصيلة، ويتم استبعادها، وفئة ينعزل فيها النسل إلى نباتات متنحية وأخرى سائدة، بنسبة ١:٣، وهى التى تنتج من التلقيح الذاتى للنباتات الخليطة. وتنتخب النباتات الحاملة للصفة المتنحية – لأنها تكون أصيلة (aa) – وتلقح رجعيًا لإنتاج بذور الجيل الأول للتلقيح الرجعى الثانى، F_1BC_2، ويستمر اتباع

الأسلوب ذاته مع بقية التلقيحات الرجعية. ويفضل اتباع هذه الطريقة، عندما لا توجد حاجة ملحة إلى العجلة فى برنامج التربية (جدول (٦–٥).

ويبين جدول (٦–٥) مختلف خطوات برنامج التربية لنقل صفة بسيطة متنحية بطريقة التهجين الرجعى، مع بيان بالانعزالات الوراثية المتوقعة والتدرج فى استعادة مختلف صفات الأب الرجعى خلال برنامج التربية.

جدول (٦–٥): نقل صفة متنحية بطريقة التهجين الرجعى.

الموسم والعشيرة المزروعة	التراكيب الوراثية[أ] الأب – الأم	العشيرة المنتجة: الجيل	العشيرة المنتجة: التراكيب الوراثية	النسبة المئوية لجينات الأب المكرر
١ – التلقيح الأول	RR × rr	F_1	Rr	٥٠
	(الأب المعطى) (الأب المتكرر)			
٢ – F_1	Rr × RR	BC_1	1RR: 1Rr	٧٥
٣ – BC_1	تلقيح ذاتى لكل من:	F_2BC_1		
	RR		RR	يستبعد
	و RR		1RR:2Rr:1rr	ينتخب rr
٤ – F_2BC_1	rr × RR	BC_2	Rr	٨٧,٥
٥ – BC_2	Rr × RR	BC_3	1RR:1Rr	٩٣,٧٥
٦ – BC3	تلقيح ذاتى لكل من:	F_2BC_3		
	RR		RR	يستبعد
	و rr		1RR:2Rr:1rr	ينتخب rr
٧ – F_2BC_3	rr × RR	BC_4	Rr	٩٦,٨٧
٨ – BC_4	Rr × RR	BC_5	1RR:1Rr	٩٨,٤٤
٩ – BC_5	تلقيح ذاتى لكل من:	F_2BC_5		
	RR		RR	يستبعد
	و Rr		1RR:2Rr:1rr	ينتخب rr
١٠ – F_2BC_5	rr × RR	BC_6	Rr	٩٩,٢٢
١١ – BC_6	تلقيح ذاتى لكل من:	F_2BC_6		
	RR		RR	يستبعد
	و Rr		1RR:2Rr:1rr	ينتخب rr
١٢ – F_2BC_6	rr (تلقيح ذاتى)	F_3BC_6	rr	

أ – تنتخب دائمًا النباتات الأكثر تشابهًا فى صفاتها مع صفات الأب الرجعى، سواء أكان ذلك بغرض تلقيحها مع الأب الرجعى، أم لأجل تلقيحها ذاتيًا.

٢ – اتباع نفس الطريقة السابقة – أى تلقيح نباتات الجيل الأول للتلقيح الرجعى الأول F_1BC_1 ذاتيًا – ولكن مع تلقيح كل نبات منه – كذلك – فى نفس الوقت – رجعيًا إلى الأب الرجعى، لإنتاج بذور الجيل الأول للتلقيح الرجعى الثانى F_1BC_2. وبناء على نتائج الانعزالات المشاهدة فى الجيل الثانى للتلقيح الرجعى الأول F_1BC_2 .. يستمر برنامج التربية مع نباتات الجيل الأول للتلقيح الرجعى الثانى F_1BC_2 التى استخدم فى إنتاجها نباتات ظهر فى نسلها – الناتج من التلقيح الذاتى – أى فى الجيل الثانى للتلقيح الرجعى الأول F_2BC_1 – انعزالات متنحية (يكون تركيبها الوراثى aa)، وسائدة (يكون تركيبها الوراثى Aa، و AA) بنسبة ١:٣؛ ويعنى ذلك أن هذه النباتات التى ظهرت الانعزالات فى نسلها عند تلقيحها ذاتيًا كانت خليطة Aa. وقد لقحت هذه النباتات ذاتها – وهى من الجيل الأول للتلقيح الرجعى الأول F_1BC_1 – رجعيًا إلى الأب الرجعى AA، وهو ما يعنى أن نباتات الجيل الأول للتلقيح الرجعى الثانى – التى استخدمت هذه النباتات الخيطة Aa فى إنتاجها – تنعزل إلى خليطة Aa وسائدة أصيلة بنسبة ١:١. يستمر برنامج التربية مع هذه النباتات، ويتبع نفس الأسلوب مع بقية التلقيحات الرجعية.

يؤدى اتباع هذه الطريقة إلى تقصير المدة اللازمة لإجراء التلقيحات الرجعية إلى النصف، ولكنها تتطلب جهدًا إضافيًا فى إنتاج الجيل الثانى بعد كل تلقيح رجعى مع زيادة عدد التلقيحات التى ينبغى إجراؤها عند كل تهجين رجعى، وزيادة أعداد النباتات التى تلزم زراعتها. ويوصى – عند اتباع هذه الطريقة – بالعدول عنها إلى الطريقة الأولى بعد كل تلقيحين رجعيين، لانتخاب نباتات متنحية أصيلة aa، هى التى يستمر معها برنامج التربية لكى تشاهد النباتات الحاملة للصفة التى يراد نقلها – على فترات – خلال برنامج التربية.

٣ – يمكن الاستمرار فى برنامج التربية كما لو كانت الصفة سائدة، ولكن مع إجراء التلقيح الذاتى لإنتاج الجيل الثانى بعد كل تلقيحين رجعيين، فيلقح الأب المعطى (aa) مع الأب الرجعى Aa، ثم يلقح الجيل الأول Aa رجعيًا إلى الأب الرجعى لإنتاج الجيل الأول للتلقيح الرجعى الأول F_1BC_1 الذى ينعزل إلى نباتات خليطة Aa وسائدة أصيلة AA بنسبة ١:١، وتبدو جميعها – مظهريًا – سائدة بالنسبة للصفة التى يُراد نقلها.

يلقح عدد كبير من نباتات هذا الجيل – رجعيًا – إلى الأب الرجعى لإنتاج الجيل الأول للتلقيح الرجعى الثانى F_1BC_2. تبدو نباتات هذا الجيل – مظهريًا – سائدة بالنسبة للصفة التى يراد نقلها ولكن تركيبها الوراثى يتوقف على النبات الذى استخدم فى التلقيح الرجعى الثانى؛ فالنباتات السائدة الأصيلة AA تعطى عند تلقيحها رجعيًا نباتات سائدة أصيلة أيضًا، أما النباتات الخليطة Aa فإنها تعطى عند تلقيحها رجعيًا نباتات تنعزل إلى خليطة Aa، وسائدة أصيلة AA، بنسبة ١:١؛ أى إن نباتات الجيل الأول للتلقيح الرجعى الثانى F_1BC_2 تنعزل – عمليًا – إلى خليطة Aa وسائدة أصيلة بنسبة ١:٣. يلقح عدد كبير من نباتات هذا الجيل ذاتيًا؛ لإنتاج الجيل الثانى للتهجين الرجعى الثانى F_2BC_2، وتستبعد جميع الأنسال التى تبدو سائدة بالنسبة للصفة التى يراد نقلها، سواء أكانت خليطة Aa، أم أصيلة AA، ويحتفظ فقط بالنباتات التى تحمل الصفة التى يراد نقلها، والتى تكون متنحية أصيلة aa وتلقح هذه النباتات – رجعيًا – إلى الأب الرجعى؛ لإنتاج الجيل الأول للتلقيح الرجعى الثالث F_1BC_3 ... وهكذا .. يستمر برنامج التربية على هذا النحو، بإنتاج الجيل الثانى بعد كل تلقحين رجعيين.

ويتعين – فى جميع الحالات – إجراء التلقيح الذاتى بعد التلقيح الرجعى الأخير؛ لعزل النباتات التى تحمل الصفة المرغوب فيها بحالة أصيلة. فلو كان التلقيح الرجعى الأخير هو السابع .. فإن نباتاته تلقح ذاتيًا لإنتاج الجيل الثانى F_2BC_7 الذى تنتخب منه النباتات الحاملة للصفة المتنحية بحالة أصيلة aa، وتلقح ذاتيًا لإنتاج بذور الجيل الثالث F_3BC_7 التى تعد بذور المربى.

نقل صفة كمية

يتطلب نقل الصفات الكمية إنتاج الجيلين الثانى والثالث بعد كل تلقيح رجعى؛ ليمكن تأصيل الصفة التى يُراد نقلها فى النباتات التى تلقح رجعيًا؛ فتلقح النباتات الناتجة من أى تلقيح رجعى ذاتيًا لإنتاج الجيل الثانى الذى تنتخب منه أكثر النباتات إظهارًا للصفة التى يراد نقلها، وهى التى تلقح ذاتيًا لإنتاج الجيل الثالث؛ لتحقيق هدفين، هما: اختبار نسل النباتات المنتخبة للتأكد من حملها للصفة، وانتخاب نباتات

أصيلة فى جميع الجينات التى تتحكم فى الصفـة التـى يُـراد نقلـها لتلقيحـها رجعيًـا، ويتكرر هذا الإجراء بعد جميع التلقيحات الرجعية، بما فى ذلك التلقيح الرجعى الأخير – وليكن السابع – ثم تلقح النباتات المنتخبة من التلقيـح الرجعـى الأخـير (أى F_3BC_7) ذاتيًا لإنتاج بذور الجيل الرابع (F_4BC_7)، التى تعد بمثابة بذور المربى.

يتبع نفس الأسـلوب السـابق عنـد الرغبـة فـى نقـل الصفـات الكميـة ذات درجـات التوريث المنخفضة، ولكن يلزم – فى هـذه الحالـة – زراعـة أعـداد كـبيرة مـن نباتـات الجيلين الثانى والثالث بعد كل تلقيح رجعى؛ لأن درجة التوريـث المنخفضـة تـؤدى إلى صعوبة معرفـة التراكيب الوراثية المرغوب فيها. وقد يتطلب الأمـر إنتـاج الجيـل الرابـع بعد كل تلقيـح رجعى للتأكد من تواجد الصفة بحالة أصيلة فى النباتـات المنتخبـة قبـل تلقيحـها رجعيًا.

وجدير بالذكر أن درجة توريث الصفة تعد أكثر أهمية مـن كونـها بسـيطة أو كميـة؛ إذ يكون من الأسهل تتبع صفة كمية ذات درجة توريث مرتفعة عـن صفـة بسـيطة ذات درجة توريث منخفضة.

نقل صفتين أو أكثر إلى صنف واحد

إذا احتوى الصنف المعطى على صفتين هامتين أو أكثر، ورغب المربى فى نقلـها معًـا إلى الصنف الرجعى .. فإنه يسلك فى سبيل تحقيق ذلك إحدى طريقتين؛ هما:

١ – نقل الصفات معًا فى برنامج تربية واحد:

يلزم فى هذه الحالة زراعة أعداد كبيرة من نباتات كـل جيـل رجعـى، وكذلـك عنـد إنتاج الجيلين الثانى أو الثالث بعد كل تلقيح رجعى؛ لإتاحة الفرصـة لظـهور انعـزالات تجمع الصفات المراد نقلها معًا. ويراعـى – عنـد نقلـها – كـل مـا سـبق بيانـه بالنسـبة لنوعيات الصفات المختلفة.

٢ – نقل الصفات فى برامج تربية مستقلة ومتوازية:

تعامل كل صفة مستقلة فى برنامج تهجين رجعـى منفصـل، وفـى نهايـة الـبرامج .. نحصل على أصناف جـديدة لا تختلف عن الأب الرجعى إلا فى احتواء كل منـها علـى صفة جديدة من الصفات المراد نقلها. وبتلقيح هذه الأصناف معًا، ثم إنتاج الجيل الثانى

.. نحصل على انعزالات وراثية، تجمع الصفات المرغوبة معًا بحالة أصيلة بالإضافة إلى بقية صفات الأب الرجعى. هذا .. ويفضل اتباع هذه الطريقة على الطريقة الأولى؛ لأنه قد يصعب تقييم النباتات فى كل الصفات التى يراد نقلها فى آن واحد، ولأنها – أى الطريقة الأولى – تحتاج إلى زراعة أعداد كبيرة من النباتات بعد كل تلقيح رجعى للحصول على نبات واحد على الأقل من التركيب الوراثى المرغوب فيه ؛ فعلى سبيل المثال .. تلزم زراعة ٧٢ نباتًا على الأقل بعد كل تلقيح رجعى للعثور على نبات واحد – على الأقل – خليط فى أربعة عوامل وراثية – مع احتمال فشل ١٪ – عند الرغبة فى نقل أربع صفات بسيطة سائدة – معًا – مرة واحدة .. بينما تلزم زراعة ٧ نباتات فقط بعد كل تلقيح رجعى للعثور على نبات واحد على الأقل خليط فى إحدى هذه الصفات – مع احتمال فشل ١٪ عند الرغبة فى نقلها فى برامج تربية مستقلة ومتوازية؛ فيكون – بالتالى – عدد النباتات التى تلزم زراعتها فى البرامج الأربعة هو ٧ × ٤ = ٢٨ نباتًا فقط.

تأثير الارتباط بين الصفة المنقولة وغيرها من الصفات على برنامج التربية

تنتقل الصفات المرتبطة بالصفة التى يُراد نقلها بالتلقيح الرجعى – تلقائيًّا – مع الصفة المطلوبة جيلاً بعد جيل. وغالبًا ما تكون هذه الصفات غير مرغوب فيها، خاصة أن طريقة التهجين الرجعى تستخدم فى نقل بعض الصفات من الأنواع البرية القريبة إلى الأنواع المزروعة، بينما تحتوى الأنواع البرية على صفات كثيرة غير مرغوب فيها قد تكون مرتبطة بالصفات التى يُراد نقلها. وبالرغم من ذلك .. فإن فرصة التخلص من الصفات غير المرغوب فيها تكون كبيرة، ويتوقف ذلك على نسبة العبور بين هذه الجينات والجين المرغوب فيه، وعدد التلقيحات الرجعية؛ فبافتراض قصر الانتخاب عل الصفة التى يُراد نقلها فقط (أى عدم إجراء أى انتخاب ضد الصفات غير المرغوب فيها) .. فإن احتمال التخلص من الصفات المرغوبة = ١ – (١–ع) $^{ت+١}$؛ حيث تمثل (ع) نسبة العبور، و (ت) عدد التلقيحات الرجعية.

يبين جدول (٦–٦) احتمالات التخلص من الجينات غير المرغوب فيها فى حالتى التلقيح الرجعى لخمسة أجيال، والتلقيح الذاتى بفرض حدوث عبور بنسب تتراوح من

٠,٠٠١ إلى ٠,٥، مع الانتخاب للصفة المرغوبة فقـط. ويتبـين مـن الجـدول أن التـهجين الرجعى يزيد من فرصة التخلص من الصفات غير المرغوب فيها عن التلقيح الذاتـى. أمـا عندما يجرى الانتخاب ضد الصفات غير المرغوب فيها أيضًا .. فإن التلقيح الذاتى يزيـد من فرصة التخلص منها؛ لأن العبور يمكن أن يحدث – فى هذه الحالـة – بـين الصفـة المرغوبة وغير المرغوبة فى كـلا الأبويـن، بينمـا لا يحـدث العبـور – فـى حالـة التلقيـح الرجعى – سوى فى الأب الرجعى فقط.

جدول (٦-٦): احتمال التخلص من الجينات غير المرغوب فيها والمرتبطة مع الجين الذى يُراد نقلـه فى حالتى التلقيح الرجعى لخمسـة أجيال والتلقيح الذاتى مع الانتخاب للصفة المرغوبة فقط (عـن Allard ١٩٦٤).

نسبة العبور	احتمال التخلص من الجينات غير المرغوب فيها	
	عند إجراء خمسة تلقيحات رجعية	فى حالة التلقيح الذاتى
٠,٥٠	٠,٩٨	٠,٥٠
٠,٢٠	٠,٧٤	٠,٢٠
٠,١٠	٠,٤٧	٠,١٠
٠,٠٢	٠,١١	٠,٠٢
٠,٠١	٠,٠٦	٠,٠١
٠,٠٠١	٠,٠٠٦	٠,٠٠١

برنامج التهجين الرجعى مع مختلف العشائر النباتية

عشائر النباتات الذاتية التلقيح

ينطبق كل ما سبق بيانه عن التربية بالتهجين الرجعى على عشائر النباتـات الذاتيـة التلقيح. ويراعى – عندما تتكون العشيرة من عدد من السـلالات النقية – وهو ما يحـدث غالبًا – أن يسـتعمل عدد من نباتات الأب الرجعى فى كل تلقيح رجعـى، للإبقـاء علـى أكبر قدر من التباينات التى قد توجد فيه.

عشائر النباتات الخلطية التلقيح

تستخدم طريقة التهجين الرجعى فى تحسـين السـلالات المربـاة تربيـة داخليـة مـن

عشائر النباتات الخلطية التلقيح. وتكون طريقة التربية - فى هذه الحالة - مماثلة تماماً للطريقة التى تتبع مع النباتات الذاتية التلقيح. أما عند تحسين عشائر النباتات الخلطية التلقيح بطريقة التهجين الرجعي .. فإنه تلزم مراعاة أمرين، هما:

١ - تكون عشائر النباتات الخلطية التلقيح على درجة عالية من عدم التجانس الوراثى highly heterogenous، لذا .. يجب استخدام عدد كبير من نباتات الصنف الذى يُراد تحسينه، لتمثيل ما توجد به من الاختلافات وراثية. وللمحافظة على نسب الأليلات allelic frequencies للمواقع الجينية المختلفة فى العشيرة.

٢ - تفقد بعض المحاصيل الخلطية التلقيح قوة نموها بسرعة شديدة بالتربية الداخلية. وتصعب - فى هذه الحالات - نقل الصفات الكمية، والصفات ذات درجات التوريث المنخفضة، وهى التى تتطلب إجراء التلقيح الذاتى لإنتاج الجيل الثالث - وربما الرابع - بعد كل تلقيح رجعي، ذلك لأن التربية الداخلية تؤدى إلى تدهور النباتات، مع صعوبة تمييز التراكيب الوراثية المرغوبة.

وقد اتبعت طريقة التهجين الرجعي فى تحسين عديد من النباتات الخلطية التلقيح، مثل القرعيات (القرع، والخيار، والشمام، والبطيخ)، والبرسيم الحجازى، لإدخال صفات مهمة إليها، خاصة صفات المقاومة للآفات، فأمكن فى البرسيم الحجازى - مثلا - إدخال صفات المقاومة لأمراض الذبول البكتيرى، والبياض، وتبقع الأوراق إلى الصنف كاليفردى Caliverde، وقد استخدم فى هذا البرنامج أكثر من ٢٠٠ نبت من الأب الرجعي فى كل تهجين رجعي.

عشائر النباتات الخضرية التكاثر

يستحيل إجراء التربية بطريقة التهجين الرجعي - كما سبق بيانه فى هذا الفصل - لنقل صفة من صنف غير مرغوب فيه إلى صنف مرغوب فيه. يكثر - تجريب - بطرق التكاثر الخضرى، ذلك لأن مثل هذه النباتات تكون خليطة (غير متماثلة) Heterozygous بدرجة عالية. ويؤدى اللجوء إلى التكاثر الجنسى - كما هو متوقع عند التربية بطريقة التهجين الرجعي - إلى ظهور انعزالات وراثية كثيرة، يصل عددها إلى ٣^ن، حيث تمثل (ن) عدد المواقع الجينية الخليطة فى الأب الرجعي، وهى التى يمكن

أن تزيد على مئة جين، ويتبين من ذلك .. استحالة العثور على التركيب الوراثى المماثل للأب الرجعى بعد التلقيح الرجعى، فضلاً على عدم العلم أصلاً بهذا التركيب الوراثى فى كُليته. كما يؤدى التلقيح الرجعى (وهو بين نباتات متنحية خليطة والأب الرجعى، وهو خليط أيضًا) إلى ظهور بعض الانعزالات الوراثية الأصيلة، مما يؤدى إلى ضعف قوة النمو.

وخلاصة القول إنه يستحيل إنتاج صنف جديد من محصول خضرى التكاثر – بطريقة التهجين الرجعى – يكون مماثلاً للصنف الأصلى (الرجعى) فى جميع الصفات ما عدا الصفة التى يُراد نقلها إليه.

هذا .. إلا أن طريقة التهجين الرجعى تستخدم مع المحاصيل الخضرية التكاثر لنقل صفات مرغوبة من الأنواع البرية، أو من أصناف غير محسنة إلى جيرمبلازم محسن، فيلقح الصنف التجارى (الأب الرجعى) مع السلالة المحتوية على الصفة التى يراد نقلها (الأب المعطى) ويستمر برنامج التربية – بعد ذلك – كالعادة، وإذا حدث تدهور فى قوة النمو يستخدم صنف محسن جديد من نفس النوع المحصولى فى كل تهجين رجعى. وتؤدى الطريقة فى كلتا الحالتين إلى إدخال الصفة المرغوبة فى تراكيب وراثية جديدة كثيرة محسنة، يمكن انتخاب أفضلها، وإكثاره خضريًا ليصبح صنفًا جديدًا، ولكن هذا الصنف الجديد لا يكون مماثلاً للصنف الأصلى (الرجعى). وقد اتبعت هذه الطريقة فى تحسين بعض المحاصيل التى تتكاثر خضريًا مثل البرتقال والجريب فروت.

مزايا التربية بطريقة التهجين الرجعى وعيوبها

توفر طريقة التهجين الرجعى المزايا التالية:

١ – تعطى نتائج يمكن التنبؤ بها وتكرارها.

٢ – تعد طريقة سريعة للتربية؛ حيث تتطلب عددًا أقل من الأجيال، مع زراعة عدد أقل من النباتات فى كل جيل، عما فى طرق التربية الأخرى.

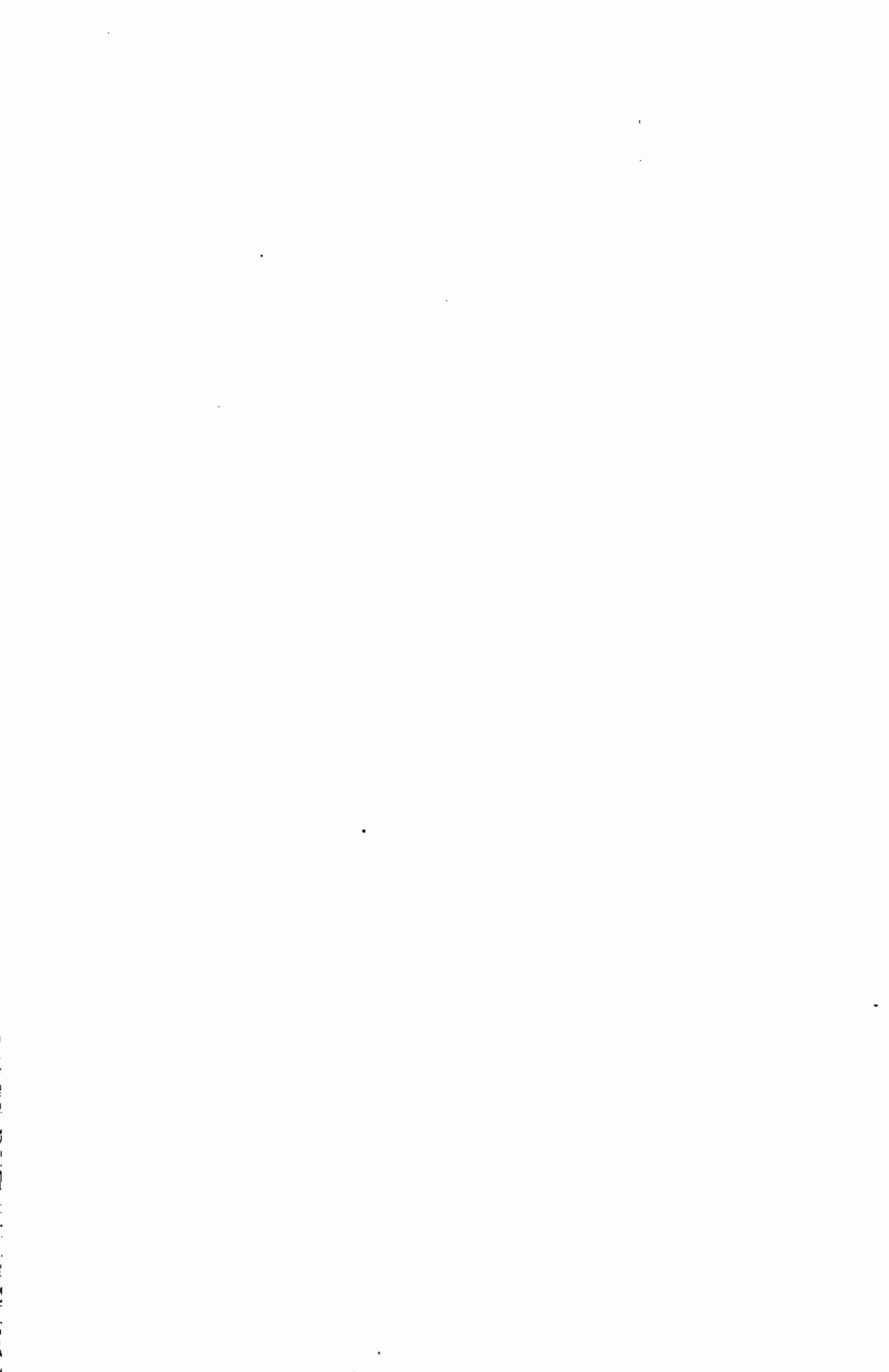
٣ – تفيد هذه الطريقة فى إضافة صفات جيدة باستمرار إلى صنف ناجح، كما تفيد – بالتالى – فى خفض عدد الأصناف المتداولة من المحصول.

٤ – يمكن تنفيذ برنامج التربية بالتهجين الرجعي في ظروف مخالفة للظروف التي يزرع فيها المحصول؛ كأن يجري في البيوت المحمية، أو في مناطق أخرى غير مناطق إنتاج المحصول.

٥ – تجعل هذه الطريقة إجراء اختبارات الجودة على صفات الأب الرجعي غير ضرورية بعد الانتهاء من برنامج التربية، كما لا تتطلب إجراء تقييم موسع للصنف الجديد، قبل نشر زراعته، لأنه يكون ذا مواصفات معروفة مقدمًا.

٦ – يستفاد من طريقة التهجين الرجعي – كذلك – في إكساب الجيرمبلازم صفات معينة تجعل من الممكن زراعته والاستفادة مما يتوفر فيه من صفات مرغوب فيها، ومن أمثلة ذلك حالات الجيرمبلازم الذي يكون حساسًا للفترة الضوئية؛ وهو الذي لا يزهر ولا يمكن الاستفادة منه في البيئات التي لا تتوفر فيها الفترة الضوئية التي تناسب إزهاره؛ ولكن يمكن بطريقة التهجين الرجعي إكساب هذا الجيرمبلازم صفة عدم الحساسية للفترة الضوئية؛ مما يجعل بالإمكان الاستفادة منه في برامج التربية في أي مكان، وتعرف تلك العملية باسم germplasm conversion (عن Singh ١٩٩٣).

ومن أهم عيوب التربية بطريقة التهجين الرجعي أنها لا تمكن المربي من الحصول على تراكيب وراثية جديدة غير عادية؛ لأن الغرض منها محدد منذ البداية.



الفصل السابع

الأصناف الهجين

مقدمة عن الأصناف الهجين

يعرف الصنف الهجين Hybrid Variety بأنه الجيل الأول المستعمل فى الإنتاج التجارى، الذى يحصل عليه بتلقيح سلالتين خضريتين، مع الإكثار الخضرى لأحد النباتات الجيدة الصفات الناتجة (فى المحاصيل الخضرية التكاثر)، أو سلالتين مرباتين تربية داخلية (فى المحاصيل الخلطية التلقيح)، أو سلالتين نقيتين (فى المحاصيل الذاتية التلقيح)، أو صنفين محسنين (فى أى من العشائر التى سبق ذكرها).

وقد حظيت التربية بطريقة إنتاج الأصناف الهجين - أكثر من غيرها - باهتمام المربين فى كافة أرجاء العالم. وتوجد أسباب كثيرة لذلك، سوف يأتى بيانها، ولكن أهم هذه الأسباب - بلاشك - هو الزيادة الكبيرة التى تشاهد فى محصول هذه الأصناف، مقارنة بالأصناف الأخرى.

وقد أجريت معظم الدراسات الأساسية الخاصة بطريقة إنتاج الأصناف الهجين على نبات الذرة؛ ويرجع ذلك إلى أسباب كثيرة تتعلق بهذا المحصول؛ منها ما يلى:

١ - سهولة إجراء التلقيحات، وكثرة كمية البذور التى تنتج من كل تلقيح.

٢ - ينتج النبات الواحد كمية هائلة من حبوب اللقاح، يمكن استخدامها فى إجراء عدة تلقيحات.

٣ - الأهمية الاقتصادية الكبيرة لمحصول الذرة.

٤ - الزيادة الكبيرة فى المحصول التى نتجت من استعمال الأصناف الهجين. لقد ازداد محصول الذرة الشامية بمقدار خمسة أضعاف منذ إدخال الأصناف الهجين فى الزراعة فى ثلاثينيات القرن العشرين؛ فبعد ثبات المحصول لفترة طويلة من ١٨٦٦

حتى حوالى ١٩٣٥ .. أحدث استعمال الهجن المزدوجة فى الزراعة زيادة سنوية فى المحصول قدرت بنحو ٦٥ كجم للهكتار، ثم بعد إدخال الهجن الفردية فى الزراعة فى عام ١٩٦٠ بلغ معدل الزيادة السنوى المستمر فى المحصول حوالى ١٠٧ كجم للهكتار. وعلى الرغم من أن جزءًا من تلك الزيادة كان مرده إلى تحسين طرق الزراعة والخدمة .. إلا أن معظمها كان بسبب التحسين الوراثى للأصناف لمستخدمة فى الزراعة؛ فباستخدام بذور الأصناف القديمة وزراعتها جنبًا إلى جنب مع الأصناف الحديثة – مع اتباع طرق الزراعة الحديثة – تبين أن حوالى ٣٣٪ إلى ٨٩٪ من الزيادة فى المحصول كان مردها إلى التحسن الوراثى، بمتوسط قدره ٧١٪ (Crow ٢٠٠٠).

وقد أدى النجاح الكبير – الذى لقيته الأصناف الهجين فى الذرة – إلى انتشارها فى محاصيل أخرى كثيرة؛ منها معظم محاصيل الخضر. ويعتقد Craig (١٩٦٨) أن إنتاج الأصناف الهجين فى معظم محاصيل الخضر الجنسية التكاثر يعد من أهم التطورات فى تربية المحاصيل البستانية. وربما كانت بداية ذلك محاولات Hayes & Jones لإنتاج الجيل الأول الهجين فى الخيار فى عام ١٩١٦، ثم كان اقتراح Pearson عام ١٩٣٢ بالاستفادة من ظاهرة عدم التوافق الذاتى فى إنتاج هجن الصليبيات. وتلا ذلك .. قيام Jones & Clarke فى عام ١٩٤٣ بوصف الطريقة العملية لإنتاج هجن البصل؛ بالاستفادة من ظاهرة العقم الذكرى السيتوبلازمى.

وتاريخيًا .. كان الباذنجان أول محاصيل الخضر التى استعملت فيها الأصناف الهجين على النطاق التجارى، وذلك فى عام ١٩٢٤، وأعقب ذلك إنتاج الهجن فى كل من: البطيخ فى ١٩٣٠، والخيار فى ١٩٣٣، والفجل فى ١٩٣٥، والطماطم فى ١٩٤٠، والكرنب فى ١٩٤٢، والكرنب الصينى فى ١٩٤٣ (عن Liedel & Anderson ١٩٩٣).

ولكى يكون برنامج التربية بإنتاج الهجن ناجحًا، يجب أن تتحقق الشروط التالية:

١ – تواجد قدر كبير من التأثيرات غير الإضافية للجينات، وهى تأثيرات السيادة، والسيادة الفائقة، والتفوق.

٢ – توفر إحدى الظواهر التى تسمح بالاستغناء عن إجراء عملية خصى الأزهار المكلفة، مثل العقم الذكرى وانفصال الجنس.

ويتضمن برنامج التربية بإنتاج الهجن ثلاث خطوات رئيسية، هي:

١ – إنتاج السلالات المرباة داخليًا.

٢ – تقييم السلالات المرباة داخليًا المنتجة من حيث قدرتها على التوافق، وصفاتها الاقتصادية الهامة.

٣ – إدخال تلك السلالات – فى توافيق متآلفة – لإنتاج الهجن.

العوامل التى تجعل الأصناف الهجين مرغوبة ومفضلة

إن من أهم العوامل التى تجعل الأصناف الهجين مرغوبة ومفضلة عن الأصناف الأخرى ما يلى:

١ – تتميز الأصناف الهجين بالتجانس مع قوة النمو، وتلك صفتان لا يمكن الحصول عليهما مجتمعتين بأية طريقة أخرى من طرق التربية؛ فالسلالات المتجانسة المرباة تربية داخلية تكون ضعيفة النمو، بينما تكون الأصناف المفتوحة التلقيح القوية النمو غير متجانسة، وتكون الأصناف التركيبية أقل تجانسًا، وأقل فى قوة النمو.

٢ – الزيادة الكبيرة فى محصول الأصناف الهجين، وهى أحد مظاهر قوة الهجين التى تتضمن – أيضًا – كل صفات الجودة، والمقاومة للآفات، والقدرة على تحمل الظروف البيئية القاسية ... إلخ.

٣ – مرونة برنامج التربية بالتهجين، مقارنة بالطرق الأخرى؛ حيث يمكن للمربى جمع الصفات المرغوب فيها فى الهجن بالاختيار الدقيق للآباء.

٤ – لا يمكن الحصول على بعض الصفات المرغوب فيها إلا فى الأصناف الهجين، كما فى البطيخ العديم البذور، والبيتونيا المزدوجة.

٥ – يعد إنتاج الأصناف الهجين أفضل الطرق لحفظ حقوق المربى، وربما كان ذلك أهم الأسباب التى دفعت شركات البذور إلى التوسع فى إنتاج الأصناف الهجين، حيث تستطيع السيطرة على إنتاجها؛ لاحتفاظها بسرية آباء الهجن.

يلاحظ أن قسطًا كبيرًا من المزايا المذكورة آنفًا يعود على المربى وشركات البذور التى تقوم بإنتاج الهجن. كما يستفيد منتج المحصول فى الدول المتقدمة – التى تشيع فيها الميكنة الزراعية – من صفة التجانس فى النمو، وموعد النضج. غير أن ذلك لا يكون

ضروريًّا فى الدول النامية، التى تجرى فيها معظم العمليات الزراعية يدويًّا، كما لا يكون التجانس فى موعد النضج أمرًا مرغوبًا فيه فى تلك الدول، حيث تكون معظم الأسواق محلية، وحيث لا تتوفر وسائل لحفظ المحصول وتخزينه بشكل جيد، فإذا أضفنا إلى ذلك الارتفاع الكبير فى أسعار بذور الهجن .. فإن هذا يعنى زيادة تكلفة الإنتاج بقدر ربما لا يتناسب مع مستويات المعيشة فى بعض الدول النامية، ولهذه الأسباب .. يرى Riggs (١٩٨٨) أن استعمال هجن بعض الخضر ربما لا يكون ضروريًّا أو مرغوبًا فيه فى الدول النامية. وعلى أية حال .. فإن الجوانب الاقتصادية للعملية الإنتاجية هى التى تحكم هذا الأمر فى نهاية المطاف.

العوامل المؤثرة فى أسعار الهجن

ترتفع أسعار هجن بعض المحاصيل بدرجة كبيرة عن أسعار بذور الأصناف التقليدية.

وترجع الزيادة فى تكلفة إنتاج الأصناف الهجين إلى الأسباب التالية:

١ – تكاليف برنامج التربية لإنتاج السلالات المرباة داخليًّا، واختبار قدرتها على التآلف.

٢ – تكاليف إكثار سلالات الآباء.

٣ – تكلفة زراعة نسبة من الحقل الإنتاجى بالسلالة المستخدمة كأب، فى حين تحصد البذرة الهجين من السلالة المستخدمة كأم فقط.

٤ – تكلفة الرعاية الخاصة التى تعطى حقول إنتاج البذرة الهجين فى العزل، والزراعة، والحصاد.

٥ – تكاليف عمليتى الخصى والتلقيح (George ١٩٩٩).

ومن أهم العوامل التى تقلل من تكاليف إنتاج البذرة الهجين واستعمالها فى الزراعة التجارية ما يلى:

١ – توفر الظواهر التى تجعل من غير الضرورى خصى الأزهار فى السلالات المستعملة كأمهات فى الهجن، مثل العقم الذكرى، وعدم التوافق، وانفصال الجنس.

وعلى سبيل المثال .. استخدمت ظاهرة العقم الذكرى الوراثى السيتوبلازمى فى إنتاج هجن الذرة، والبصل، ودوار الشمس، والقطن، وبنجر السكر، كما استخدمت ظاهرة العقم الذكرى الوراثى فى إنتاج هجن الخروع، بينما لم ينتشر استخدام ظاهرة العقم الذكرى السيتوبلازمى – منفردة – فى إنتاج الهجن على نطاق تجارى.

٢ – عندما ينتج من التلقيح الواحد عدد كبير من البذور.

٣ – عندما تقل كمية التقاوى التى تلزم لزراعة وحدة المساحة.

طريقة إنتاج السلالات المرباة تربية داخلية

قد ينتج الصنف الهجين فى المحاصيل الخلطية التلقيح بالتهجين بين صنفين محسنين. تُعْطِى بعض هذه الهجن محصولاً أعلى من محصول أى من أبوى الهجين، إلا أن الأغلب هو استعمال السلالات المرباة تربية داخلية Inbred Lines كآباء لهجن المحاصيل الخلطية التلقيح.

تعرف العشيرة التى تبدأ فيها التربية الداخلية للحصول على السلالات المرباة تربية داخلية باسم عشيرة المصدر source population، وهى تكون – عادة – صنفًا مفتوح التلقيح، أو هجينًا فرديًا أو زوجيًا، أو صنفًا تركيبيًا. وبينما تعرف السلالات التى يتحصل عليها من صنف مفتوح التلقيح (سواء أكان محسنًا، أم لم يسبق تحسينه) باسم سلالات الدورة الأولى first cycle inbreds، فإن السلالات المرباة داخليًّا التى يتحصل عليها من الهجن والأصناف التركيبية تعرف باسم سلالات الدورة الثانية أو الثالثة أو الرابعة تبعًا لعدد دورات التحسين (صفر، و ١، و ٢ على التوالى) التى أخضعت لها السلالات التى دخلت فى إنتاج الهجن أو الصنف التركيبى.

تنتج السلالات المرباة داخليًا بالتلقيح الذاتى المستمر لنباتات العشيرة الأصلية لخمسة أجيال أو سبعة، ويعد ذلك كافيًا لجعل السلالات تامة التجانس وأصيلة وراثيًّا. وقد يستمر التلقيح الذاتى لعدد آخر من الأجيال؛ للتخلص من الاختلافات البسيطة التى قد تظهر بين نباتات السلالة. ويحافظ على السلالات – بعد ذلك – بجمع حبوب لقاح كل سلالة معًا، واستعمالها فى تلقيح نباتات نفس السلالة.

يلزم – أولاً – انتخاب النباتات التى ستجرى عليها التربية الداخلية. توازى هذه

الخطوة جيلاً واحدًا من الانتخاب الإجمالى، ويمكن تقدير أهميتـها بتذكـر مـدى الجـهد الذى سيبذل فى التربية الداخلية لهذه النباتات.

يجرى الانتخاب العينى Visual Selection فى أثناء التربيــة الداخليـة علـى أسـاس المظهر العام؛ للتخلص من السـلالات التى تظهر بها عيوب واضحة، وتنتخـب النباتـات التى تتميز بقوة النمو، والصفـات المهمـة؛ مثـل موعـد النضـج، وطـول النبـات، ومتانـة الساق، وصفات الجودة، والمقاومة للأمراض ... إلخ. كمـا تعطـى بعـض الأهميـة للقـدرة الإنتاجية؛ نظرًا لأن السـلالات العالية المحصول تعطى كمية كبيرة من بـذور التقـاوى – عند استعمالها كآباء فى الهجن – وهو ما يخفض مـن تكـاليف إنتـاج الهجـن. يـزرع – عادة – من ٢٠–٣٠ بذرة من كل نبات منتخب فـى خـط مسـتقل، مـع توسـيع مسـافة الزراعة – قليلاً – حتى يمكن دراسة كل نبات على حدة. وتنتخب – سـنويًا – أفضـل النبـاتات فـى أفضـل الأنسـال (أفضـل الخطـوط)، وهـى التـى تسـتمر فيـها التربيـة الداخلية.

يؤدى استمرار التربيــة الداخليـة إلى ازديـاد التجـانس فـى نسـل النباتـات المنتخبـة المُلَقحة ذاتيًا (progeny lines)، ويفقد عدد من السـلالات بسبب التدهور الشديد الـذى يحدث لها نتيجة للتربية الداخلية، وتسـتبعد سلالات أخرى لمظهرها غير المقبول. وبعد نحو ٥–٧ أجيال من التلقيح الذاتى .. تكون نباتات كل سلالة علـى درجـة عاليـة مـن التجانس، بينما تختلف السلالات – كثيرًا – عن بعضها البعض.

هذا .. ويعادل كل جيل من أجيال التلقيح الذاتى – فى سرعة الوصـول إلى الأصالـة الوراثية – ثلاثة أجيال من التلقيح بين الأشقاء، وستة أجيال مـن التلقيـح بـين أنصـاف الأشقاء. وعمومًا .. يلزم ٥–٦ أجيال من التلقيـح الذاتـى لإنتـاج سـلالات مربـاة داخليًـا متجانسة إلى حد كبير. ولقد اقترح أن درجات التربية الداخلية الأقل شدة تعطى فرصـة أكبر للانتخاب، إلا أن السـلالات المربـاة داخليًـا عـن طريـق التزاوجـات بـين أنصـاف الأشقاء لم تكن متفوقة عن تلك التى نتجت عن طريق التلقيح الذاتى.

ويتم عزل سلالات مرباة داخليًا من خلال التلقيح الذاتى، كما يلى:

١ – السنة الأولى:

يتم انتخاب عدد من النباتات ذات أشكال مظهرية مرغوب فيها من عشيرة المصدر، وتلقح ذاتيًا. يجب أن تكون النباتات المنتخبة قوية النمو وخالية من الإصابات المرضية، ويمكن أن يتم انتخابها على أساس تقديرات قدرتها العامة على التآلف، وذلك باختبار سلوك نسلها الناتج من التلقيح مع صنف اختبارى ذات خلفية وراثية عريضة. ويستدل من الدراسات التى أجريت فى هذا الشأن أن النباتات المفتوحة التلقيح (S_0) فى عشيرة المصدر تختلف فى قدرتها العامة على التآلف، وأن بالإمكان انتخاب النباتات التى تُخضع للتربية الداخلية – بعد ذلك – على أساس تلك القدرة العامة على التآلف.

وبالإضافة إلى ذلك، فإن الانتخاب المظهرى visual selection يجرى بدرجة عالية من الشدة خلال الأجيال من S_1 إلى S_4؛ ونتيجة لذلك لا تصل سوى نحو ٨٪ من أنسال الـ S_1 إلى الـ S_4. ويفيد هذا الانتخاب فى تحسين قوة النمو، وصفات الجودة، والمقاومة للأمراض والآفات، إلاّ أن فائدته فى تحسين المحصول مشكوك فيها.

٢ – السنة الثانية:

يزرع نحو ٣٠-٤٠ بذرة على مسافات واسعة نسبيًا من كل نبات انتخب ولقح ذاتيًا من عشيرة المصدر. تنتخب أفضل النباتات من أفضل الأنسال وتلقح ذاتيًا لإنتاج بذور الـ S_2.

٣ – السنوات الثالثة إلى السادسة:

يكرر فى كل سنة ما سبق عمله فى السنة الثانية، ولكن مع ازدياد عدد أجيال التلقيح الذاتى، تصبح الأنسال أكثر تجانسًا، وحينئذ يبدأ الانتخاب بين الأنسال ذاتها بدلاً من داخل كل نسل منها. وخلال تلك المرحلة يتم استبعاد معظم الأنسال بحيث لا يتبقى سوى المتميز منها.

٤ – السنة السابعة:

تكون السلالات فى تلك المرحلة متجانسة إلى حد بعيد كما تكون أفرادها أصيلة وراثيًا إلى درجة كبيرة، وهنا يتوقف التلقيح الذاتى، ويحافظ على السلالات بالتلقيح بين نباتات السلالة الواحدة (عن Singh ١٩٩٣).

أهمية ممارسة عملية الانتخاب خلال مراحل التربية الداخلية

رغم اختلاف نتائج الدراسات بشأن أهمية الانتخاب العينى (بالنظر Visual Selection، الذى يعتمد على الملاحظة والتقدير الشخصى للمربى .. إلا أنه يسود الاعتقاد بأنه يؤدى إلى استبعاد عديد من السلالات غير المرغوب فيها خلال مراحل التربية الداخلية.

ويجرى الانتخاب بالنظر على ثلاث مراحل، كما يلى:

١ – انتخاب النباتات التى تبدأ فيها التربية الداخلية من الصنف المفتوح التلقيح (نباتات الـ S_0)، وهى خطوة تعادل جيلاً واحدًا من الانتخاب الإجمالى. وتكون لهذه الخطوة أهميتها بالنسبة للصفات ذات درجات التوريث المرتفعة، وربما بالنسبة للمحصول أيضًا.

٢ – استمرار الانتخاب خلال مراحل التربية الداخلية، حتى إنتاج السلالات المرباة داخليًا، وذلك على أساس الشكل المظهرى للسلالات وقدرتها العامة على التآلف، مع استبعاد السلالات الضعيفة والتى توجد بها عيوب ظاهرة.

يفترض الاختبار المبكر للسلالات المرباة داخليًا – قبل وصولها إلى درجة عالية من الأصالة الوراثية – (أى على نباتات الـ S_0، والـ S_1 والـ S_2) وجود قدر من القدرة على التآلف بين النباتات المستخدمة فى إنتاج السلالات المرباة داخليًا منذ البداية، وخلال مراحل إنتاج السلالات، وقد أثبتت الدراسات صحة ذلك الافتراض، وجدوى الانتخاب فى تلك المرحلة.

ومن بين الاعتراضات التى أثيرت ضد الاختبار المبكر للسلالات أن سلوكها قد يتغير فى التهجينات كلما أصبحت أكثر أصالة. كذلك لا يكون الاختبار المبكر مرغوبًا فيه عندما تكون السلالات العالية التآلف ذات صفات رديئة تجعل من المفضل التخلص منها أثناء برنامج التربية الداخلية.

٣ – انتخاب السلالات التى تستعمل فى إنتاج الهجن:

رغم أهمية الانتخاب فى المرحلتين: الأولى والثانية .. فإنه لا يهم إلا بقدر يسير فى تحسين محصول الهجن المنتجة. فدورة واحدة من الانتخاب الإجمالى .. لا تؤثر كثيرًا

فى المحصول، والانتخاب – خلال مراحل التربية الداخلية – لا يفيد سوى فى استبعاد السلالات الضعيفة؛ وعليه .. فإن الزيادة الكبيرة التى تحدث فى محصول الصنف الهجين .. لابد أنها ترجع إلى الانتخاب فى المرحلة الثالثة.

يجرى التقييم الذاتى للسلالات بهدف التعرف على تلك التى يمكن أن تنتج هجنًا متفوقة، ويكون بأحد ثلاث طرق، كما يلى:

أ – تقييم الشكل المظهرى:

حيث تستبعد السلالات الضعيفة وذات الصفات الرديئة، علمًا بوجود ارتباط إيجابى ضعيف (٠,٢) بين محصول السلالات المرباة داخليًا ومحصول الهجن الناتجة منها.

ب – اختبار التلقيح القمى:

يجرى اختبار التلقيح القمى top cross testing بهدف انتخاب السلالات ذات القدرة العامة على التآلف، ويمكن على أساسه استبعاد ٥٠٪ من السلالات الأقل قدرة على التآلف. هذا .. ولا يجرى هذا الاختبار إلا على السلالات التى تثبت تفوقها فى مختلف الصفات المطلوبة .. على الأقل حتى يكون من الممكن إكثارها. وأفضل التراكيب الوراثية للاستخدام فى اختبار التلقيح القمى هى ما كانت خليطة heterozygous، وغير متجانسة heterogenous وراثيًّا.

جـ – اختبار التلقيحات الفردية:

يجرى هذا الاختبار بهدف تحديد الهجن الفردية المتميزة، ومن ثم .. ما يصلح منها للهجن الزوجية.

وتجدر الإشارة إلى إنه إن لم يجر أى انتخاب – لا قبل التربية الداخلية، ولا أثناءها، ولا بعدها – ثم لقحت كل السلالات المرباة داخليًّا بصورة عشوائية، فإن متوسط سلوكها أو متوسط محصولها يكون مساويًّا لمتوسط سلوك أو محصول عشيرة المصدر؛ ومن هنا تظهر أهمية الانتخاب خلال مختلف مراحل برنامج التربية الداخلية فى إنتاج الهجن المتميزة (عن Singh ١٩٩٣).

القدرة على التآلف بين السلالات المرباة داخليًّا

تتوقف قوة الهجين – التى تظهر فى الجيل الأول الهجين – على مدى قدرة

السلالات المهجنة على التآلف Combining Ability of Inbred Lines، حيث تزداد قوة الهجين كلما كانت السلالات المهجنة أكثر تآلفًا، أى كلما كانت تراكيبها الوراثية مكملة بعضها بعضًا، وأكثر تأثيرًا فى قوة الهجين عند تواجدها – معًا – فى الفرد الهجين. وتوجد ثلاثة أنواع من القدرة على التآلف، هى: متوسط القدرة على التآلف، والقدرة العامة على التآلف، والقدرة الخاصة على التآلف.

متوسط القدرة على التآلف

يعبر عن متوسط القدرة على التآلف Average Combining Ability لأية سلالة بمتوسط محصول الهجن الفردية التى تدخل فيها هذه السلالة؛ فمثلاً .. إذا وجدت خمس سلالات هى أ، ب، جـ، د، هـ .. فإن متوسط قدرة السلالة (أ) على التآلف يكون هو متوسط محصول الهجن الفردية أ ب، أ جـ، أ د، أ هـ.

وفى بداية العهد بإنتاج الأصناف الهجين .. كانت تختبر كل الهجن المكنة لكل سلالة لتقدير متوسط قدرة كل منها على التآلف، وكان ذلك يتطلب جهدًا كبيرًا؛ فعلى سبيل المثال .. لو أن لدينا ٣٠ سلالة فقط لتقييم قدرتها على التآلف – وهو رقم متواضع – لكان عدد الهجن الفردية التى يلزم إنتاجها (مع استبعاد الهجن العكسية) هو ٤٣٥ هجينًا. ويمكن حساب هذا العدد من المعادلة التالية:

$$هـ = \frac{س (س - ١)}{٢}$$

حيث تمثل (هـ) عدد الهجن الفردية المكنة، و (س) عدد السلالات المطلوب تقييمها. ومن الطبيعى أنه يستحيل تقييم عدد كبير من السلالات بهذه الطريقة؛ فلو فرض أن احتاج الأمر إلى تقييم ١٠٠ سلالة .. للزم إنتاج ٤٩٥٠ هجينًا فرديًا وتقييمها. هذا فضلاً على أن التقييم قد يجرى فى مناطق مختلفة، ولعدة سنوات.

القدرة العامة على التآلف

تقارن القدرة العامة على التآلف General Combining Ability – لعدد من السلالات – بمقارنة الهجن الفردية الناتجة من تلقيح كل من هذه السلالات مع صنف اختبارى

Tester Variety. ويستعمل أى صنف تجارى ناجح مفتوح التلقيح، أو هجين زوجى، أو صنف تركيبى كصنف اختبارى. تنتج الهجن بين السلالات المرباة داخليًّا والصنف الاختبارى بواسطة ما يسمى بالتلقيح القمى Top Cross؛ حيث تزرع ٣-٤ خطوط - بمعدل خط من كل سلالة - بالتبادل مع خط من الصنف الاختبارى، وتزال النورات المذكرة (بفرض استعمال الذرة كمثال) من جميع السلالات؛ حتى يكون الصنف الاختبارى هو مصدر حبوب اللقاح لجميع الهجن. أما إذا استعمل الصنف الاختبارى كأم .. فإنه يلزم - فى هذه الحالة - استعمال عشرة نباتات منه - على الأقل - فى التلقيح مع كل سلالة؛ لتمثيل أكبر قدر من الاختلافات الوراثية التى توجد بين نباتاته.

وترجع أهمية القدرة العامة على التآلف إلى أنها تستخدم فى التنبؤ بمتوسط القدرة على التآلف؛ لأن معامل الارتباط بينهما كبير؛ حيث يقدر بنحو ٠,٥٣-٠,٩٠، وهو ما يعنى وجود علاقة مؤكدة بين محصول الهجن الناتجة من التلقيح القمى لعدد من السلالات، وبين متوسط محصول الهجن الفردية التى تدخل فيها كل من هذه السلالات عند تهجينها مع بعض البعض.

ويتفق معظم مربى النبات على أنه يمكن استخدام تقديرات القدرة العامة على التآلف بأمان فى استبعاد نصف السلالات المتوفرة التى يُراد تقييمها، وقصر إنتاج الهجن الفردية وتقييمها على النصف الآخر المتبقى؛ فمثلاً .. لو كان لدينا ٣٠ سلالة .. فإن يلزم إنتاج ٣٠ هجينًا وتقييمها بالتلقيح القمى، ثم يستفاد من نتيجة التقييم فى استبعاد ١٥ سلالة؛ وهو ما يعنى خفض عدد الهجن الفردية التى يلزم إنتاجها وتقييمها من ٤٣٥ هجينًا إلى ١٠٥ هجينًا فقط.

وأفضل الأصناف الاختبارية للاستعمال هى التى يمكن بواسطتها التنبؤ بمحصول الهجن الفردية للسلالات المتوفرة. لكن لا يوجد صنف اختبارى واحد يصلح لجميع الأغراض. فكلما سبق الذكر .. تصلح الهجن الزوجية والأصناف المفتوحة التلقيح الناجحة - خاصة الأصناف التركيبية - لاختبار القدرة العامة على التآلف؛ لأنه يلزم أن يكون الصنف الاختبارى ذا قاعدة وراثية عريضة Broad Genetic Base. أما عندما يُراد البحث عن سلالة تصلح بديلاً لسلالة أخرى فى هجين زوجى معين .. فإن أفضل

صنف اختبارى لهذا الغرض يكون هو الهجين الفردى الآخر (الذى لا تستعمل هذه السلالة فى إنتاجه) فى الهجين الزوجى؛ فمثلاً .. إذا ما رغب فى البحث عن سلالة بديلة لسلالة (أ) فى الهجين الزوجى أ ب × جـ د .. فإن الصنف الاختبارى المناسب يكون هو الهجين الفردى جـ د.

وفى بداية العهد بإنتاج الأصناف الهجين .. كان يتم اختبار القدرة العامة على التآلف بعد ٣-٥ أجيال من التربية الداخلية. وكان Jenkins فى عام ١٩٣٥ هو أول من بينّ أن الاختبار المبكر للقدرة العامة على التآلف فى الذرة يكون فعّالاً بعد الجيل الثانى للتربية الداخلية؛ فقد وجد أنه من بين ١١ سلالة أجريت عليها الدراسة .. لم يختلف محصول التلقيح القمى لتسع من هذه السلالات، عندما أجرى بعد جيلين، أو بعد ستة - أو ثمانية أجيال من التلقيح الذاتى. كما وجد Sprague فى عام ١٩٤٦ أن النباتات التى لم تلقح ذاتيًا بعد (نباتات جيل الـ S_0) ذات القدرة العالية على التآلف .. تنقل هذه الصفة إلى نباتات جيل التلقيح الذاتى الأول (S_1). كذلك وجد Lonnquist فى عام ١٩٥٠ أن نباتات جيل التلقيح الذاتى الأول تنقل صفة القدرة العالية على التآلف - بنفس الدرجة - إلى نباتات جيل التلقيح الذاتى الرابع.

وبرغم أن Richey قد أوضح عام ١٩٤٥ أن الاختبار المبكر للقدرة العامة على التآلف فى الذرة، والانتخاب لهذه الصفة فى جيل التلقيح الذاتى الثانى (S_2) أو الثالث (S_3) .. يؤدى إلى استبعاد بعض السلالات الهامة .. إلا أن الاتجاه الغالب - فى معظم برامج التربية - هو تقدير هذه الصفة فى جيل التلقيح الذاتى الأول (S_1) أو الثانى (S_2)، كما يقوم البعض بتقديرها فى النباتات المنتخبة؛ لإجراء التربية الداخلية عليها (S_0). ويستفاد من هذه الاختبارات المبكرة للقدرة العامة على التآلف فى استبعاد ما يصل إلى نحو ٨٠٪ من النباتات التى يلزم إجراء التربية الداخلية عليها.

ومما يعزز أهمية الاختبار المبكر للقدرة العامة على التآلف .. أن الدراسات المستفيضة قد أوضحت وجود اختلافات حقيقية بين نباتات الـ S_1 وبعضها البعض، وكذلك بين نباتات الـ S_0 وبعضها البعض؛ من حيث قدرتها العامة على التآلف، وأن هذه الاختلافات يمكن معرفتها، برغم المشاكل الناجمة عن حالة الخلط الوراثى فى هذه النباتات، وأنها تورث من جيل لآخر مع استمرار التربية الداخلية.

القدرة الخاصة على التآلف

يقصد بالقدرة الخاصة على التآلف Specific combining Ability قدرة السلالات على التآلف مع السلالات الأخرى في الهجن الفردية Single Crosses، والهجن الثلاثية Three-way Crosses، والهجن الزوجية (الرباعية) Double Crosses. ويعبر عن هذه القدرة بقوة الهجين التي تظهر في الهجن.

تقدر القدرة الخاصة على التآلف في الهجن الفردية بإجراء الاختبار القمي أولاً؛ لاستبعاد ٥٠٪ من السلالات، وهي التي تكون أقل في القدرة العامة على التآلف، ثم تجرى كل التلقيحات الممكنة بين السلالات المتبقية؛ لتحديد أفضل الهجن الفردية لكل سلالة.

ويلزم لتقدير القدرة الخاصة على التآلف في الهجن الزوجية أن تهجن كل الهجن الفردية معًا بكل الطرق الممكنة. فلو فرض وتبقى ١٥ سلالة بعد الاختبار القمي .. فإنه يلزم – أولاً – إجراء $\frac{١٥ \times ١٤}{٢}$ = ١٠٥ هجينًا فرديًا، ثم تهجن الهجن الفردية – معًا – بكل الطرق الممكنة لإنتاج الهجن الزوجية، التي يتحدد عددها بالمعادلة التالية:

$$\text{عدد الهجن الزوجية الممكنة} = \frac{\text{س (س} - ١) \text{ (س} - ٢) \text{ (س} - ٣)}{٨}$$

حيث (س) تمثل عدد السلالات المرباة داخليًا؛ ويعني ذلك أن عدد الهجن الزوجية الممكنة يكون $\frac{١٥ \times ١٤ \times ١٣ \times ١٢}{٨}$ = ٤٠٩٥ هجينًا زوجيًا، بخلاف الهجن العكسية.

ويبين جدول (٧-١) أعداد الهجن الفردية، والثلاثية، والزوجية الممكنة من عدد (n) من السلالات المرباة داخليًا.

ونظرًا لأن عدد الهجن الزوجية التي يلزم إنتاجها وتقييمها يكون كبيرًا، ويزداد – كثيرًا – مع أي زيادة في عدد السلالات (فهو يصبح – مثلاً – ١٤٥٣٥ هجينًا زوجيًا عند زيادة عدد السلالات إلى ٢٠)؛ لذا فقد حاول العلماء التوصل إلى وسائل، يمكن بواسطتها التنبؤ بمحصول الهجن الزوجية قبل إجرائها، وكانت دراسات Jenkins في عام ١٩٣٤ من أبرز ما قدم في هذا المجال.

جدول (٧-١): أعداد الهجن الفردية، والثلاثية، والزوجية الممكنة من عدد (n) من الســلالات المرباة داخليًّا.

عدد الآباء	عدد الهجن الفردية الممكنة	عدد الهجن الثلاثية الممكنة	عدد الهجن الزوجية الممكنة
٢	١	صفر	صفر
٣	٣	٣	صفر
٤	٦	١٢	٣
٥	١٠	٣٠	١٥
٦	١٥	٦٠	٤٥
١٠	٤٥	٣٦٠	٦٣٠
١٥	١٠٥	١٣٦٥	٤٠٩٥
٣٠	٤٣٥	١٢١٨٠	٨٢٢١٥
n	n(n-1)/2	n(n-1)(n-2)/2	n(n-1)(n-2)(n-3)/8

ولقد قام Jenkins بدراسة الارتباط بين محصول الهجن الزوجية وبين متوسط محصول كل مما يلى:

١ – الهجن الستة الفردية المكنة بين السلالات الداخلة فى إنتاج الهجين الزوجى؛ فمثلاً .. تكون الهجن الستة الفردية المكنة فى حالة الهجين الزوجى أ ب × جـ د هى: أ ب، أ جـ، أ د، ب د، جـ د.

٢ – الهجن الأربعة الفردية الممكنة بين السلالات الداخلة فى إنتاج الهجين الزوجى غير الهجينين الفرديين المهجنين معًا لإنتاج الهجين الزوجى؛ فمثلاً .. تكون الهجن الأربعة الفردية المكنة فى حالة الهجين الزوجى أ ب × جـ د هى: أ جـ، أ د، ب جـ، ب د.

٣ – كل الهجن الفردية المكنة بين كل من السلالات الأربع الداخلة فى إنتاج الهجين الزوجى وبين عشر سلالات أخرى؛ فمثلاً .. تكون الهجن اللازمة فى حالة الهجين الزوجى أ ب × جـ د هى التى بين كل من السلالات أ، ب، جـ، د وعشر سلالات أخرى؛ أى يؤخذ متوسط ٤٠ هجينًا فرديًا.

٤ – الهجن الفردية المكنة بين كل من السلالات الأربع الداخلة فى إنتاج الهجين الزوجى وبين صنف اختبارى؛ أى يؤخذ متوسط أربعة هجن فردية.

وقد قدر Jenkins الارتباط بين المحصول الفعلى والمحصول المتوقع لاثنين وأربعين هجينًا زوجيًّا باستعمال الطرق الأربع السابقة، ووجد أن معامل الارتباط كان ٠,٧٥، و ٠,٧٦، و ٠,٧٣، و ٠,٦١ للطرق الأربع على التوالى.

وبناء على نتائج هذه الدراسة ودراسات أخرى كثيرة .. فقد أصبح عاديًّا أن يتنبأ المربى بمحصول الهجن الزوجية من متوسط محصول الهجن الأربعة الفردية المكنة بين السلالات الداخلة فى إنتاج الهجين الزوجى غير الهجينين الفرديين المهجنين معًا لإنتاج الهجين الزوجى. ويكفى فى هذه الحالة – إنتاج وتقييم كل الهجن الفردية المكنة بين السلالات المتوفرة؛ للتنبؤ بمحصول أى هجين زوجى بين هذه الهجن الفردية. ولكن ينبغى أن تقيم الهجن الفردية فى عدة مواقع، وعلى مدى عدة سنوات؛ ليمكن التوصل إلى نتائج يمكن الاعتماد عليها. ويبين جدول (٧-٢) مثالاً لتطبيق القاعدة السابقة فى التنبؤ بمحصول الهجن الزوجية المكنة بين خمس سلالات من الذرة (Anderson عن Briggs & Knowles ١٩٦٧).

طرق تحسين السلالات المرباة داخليًّا

يتجه كثير من الباحثين نحو محاولة تحسين السلالات المتوفرة المرباة داخليًّا، التى أثبتت قدرة عالية على التآلف، بدلاً من محاولة إنتاج سلالات جديدة؛ بسبب ندرة السلالات المتازة، وصعوبة إنتاج ما هو أفضل منها. وتبعًا لـ T. A. Kiesselbach (عن Briggs & Knowles ١٩٦٧) .. فإن عدد سلالات الذرة المرباة داخليًّا التى أنتجت حتى عام ١٩٥١ قدر بنحو ١٠٠ ألف سلالة. ولم يتفوق منها سوى ٦٠ سلالة، وهى التى كان لها دور فى إنتاج أصناف الذرة الهجين.

ويحاول المربون تحسين السلالات الجيدة فى الجوانب التالية:

١ – زيادة إنتاجية السلالات ذاتها؛ بغرض زيادة كمية البذرة الهجين من نفس التلقيح؛ فتنخفض بذلك تكاليف إنتاجها.

٢ – تحسين السلالات فى صفات خاصة تعوزها؛ مثل مقاومة الأمراض الهامة.

٣ – تحسين قدرة السلالات على التآلف؛ وهو ما يعنى زيادة قوة الهجين فى الهجن التى تدخل فيها.

جدول (٧–٢): المحصول الحقيقى المتحصل عليه من الهجن الفردية والزوجية لخمس سلالات مرباة تربية داخلية من الذرة (هى أرقام ٢٣، و ٢٤، و ٢٦، و ٢٧، و ٢٨) والمحصول المتوقع للهجن الزوجية بينها.

الهجين الفردى أو الزوجى	المحصول (بوشل/فدان) الحقيقى	المحصول (بوشل/فدان) المتوقع	الهجين الفردى أو الزوجى	المحصول (بوشل/فدان) الحقيقى	المحصول (بوشل/فدان) المتوقع
الهجن الفردية					
٢٣ × ٢٤	٤١,٧		٢٤ × ٢٧	٧٢,١	
٢٣ × ٢٦	٦٢,٦		٢٤ × ٢٨	٦٩,٣	
٢٣ × ٢٧	٧٠,٨		٢٦ × ٢٧	٦٤,٢	
٢٣ × ٢٨	٦٤,٤		٢٦ × ٢٨	٦٠,٤	
٢٤ × ٢٦	٦٥,٦		٢٧ × ٢٨	٥٩,٦	
الهجن الزوجية					
السلالات ٢٣، ٢٤، ٢٦، ٢٧:			السلالات ٢٣، ٢٦، ٢٧، ٢٨:		
(٢٣×٢٤)(٢٦×٢٧)	٦٨,٨	٦٧,٨	(٢٣×٢٦)(٢٧×٢٨)	٦٨,٢	٦٥,٠
(٢٣×٢٦)(٢٤×٢٧)	٦٢,٤	٦٠,٦	(٢٣×٢٧)(٢٦×٢٨)	٦٥,٠	٦٢,٧
(٢٣×٢٧)(٢٤×٢٦)	٦٢,٠	٦٠,٢	(٢٣×٢٨)(٢٦×٢٧)	٦٥,٧	٦٣,٤
السلالات ٢٣، ٢٤، ٢٦، ٢٨:			السلالات ٢٤، ٢٦، ٢٧، ٢٨:		
(٢٣×٢٤)(٢٦×٢٨)	٦٥,٠	٦٥,٥	(٢٤×٢٦)(٢٧×٢٨)	٧٠,٢	٦٦,٥
(٢٣×٢٦)(٢٤×٢٨)	٥٩,٨	٥٨,٠	(٢٤×٢٧)(٢٦×٢٨)	٦٢,٠	٤٧,٧
(٢٣×٢٨)(٢٤×٢٦)	٥٦,٠	٥٨,٥	(٢٤×٢٨)(٢٦×٢٧)	٦٢,٧	٦٤,٤
السلالات ٢٣، ٢٤، ٢٧، ٢٨:					
(٢٣×٢٤)(٢٧×٢٨)	٧١,١	٦٩,٢			
(٢٣×٢٧)(٢٤×٢٨)	٥٨,١	٥٩,٤			
(٢٣×٢٨)(٢٤×٢٧)	٥٨,٠	٦٠,٤			

هذا .. وتعامل السلالات المرباة تربية داخلية معاملة النباتات الذاتية التلقيح عند تحسينها؛ ذلك لأنها تكثر بالتلقيح الذاتى، كما أن نباتات كل سلالة تكون متجانسة homogenous، وأصيلة وراثيًّا homozygous؛ مثلها فى ذلك مثل العشائر المُحَسنَة الثابتة وراثيًّا من المحاصيل الذاتية التلقيح.

ومن أهم الطرق التقليدية المستخدمة في تحسين السلالات المرباة داخليًا ما يلي:

١ – طريقة انتخاب النسب:

تجرى التربية بتتبع النسل الناتج من هجين فردى ناجح بين سلالتين مرباتين تربية داخلية، وإجراء الانتخاب مع استمرار التربية الداخلية للنباتات المنتخبة جيلاً بعد جيل (تراجع لذلك التربية بطريقة انتخاب النسب).

٢ – طريقة التهجين الرجعي:

تعد تلك أنسب طرق التربية عند الرغبة في تحسين السلالات المرباة داخليًا في صفات معينة؛ مثل صفة العقم الذكرى (لاستعمالها كأمهات في الهجن)، والمقاومة للأمراض الهامة (تراجع لذلك التربية بطريقة التهجين الرجعي).

٣ – طريقة التحسين التجمعي Convergent Improvement:

اقترح Richey هذه الطريقة في عام ١٩٢٧، وتجرى بتلقيح أحد الهجن الفردية الناجحة رجعيًا إلى إلى كل من أبوية على انفراد؛ فيلقح الهجين أ ب – مثلاً – رجعيًا مع كل من السلالتين (أ)، و (ب) مع الانتخاب للصفات المهمة؛ مثل قوة النمو والمقاومة للأمراض؛ وبذا .. تحسن كلتا السلالتين.

٤ – طريقة انتخاب الجاميطات Gametc Selection:

اقترح Stadler هذه الطريقة في عام ١٩٤٤، وتجرى بتلقيح سلالة جيدة بحبوب لقاح أحد الأصناف الناجحة المفتوحة التلقيح. وتختلف النباتات التي تنتج من هذا التلقيح عن بعضها البعض – وراثيًا – بدرجة كبيرة. يُلقّح كل نبات منها – ذاتيًا – كما يلقح أيضًا مع صنف اختبارى. ويُحْتفظ بالبذور الناتجة من التلقيح الذاتي لحين تقييم البذور الناتجة من التلقيح الاختبارى. ويعني تفوق نسل أي تلقيح اختبارى أن النبات الذي استخدم في هذا التلقيح كان قد تلقى جينات مرغوبًا فيها من الصنف المفتوح التلقيح، الذي كان قد لُقح مع السلالة المراد تحسينها. وتزرع البذور الناتجة من التلقيح الذاتي لهذه النباتات في الموسم التالي لبدء برنامج جديد من التربية الداخلية عليها. وترجع أهمية هذه الطريقة – كما بين Stadler – إلى أنه إذا وجدت التراكيب الوراثية المرغوب فيها في الصنف المفتوح التلقيح بنسبة q^2 .. فإنها توجد في

جاميطات هذا الصنف بنسبة q، وهى أعلى بكثير (يراجع لذلك قانون هاردى-فينبرج).

ومن الطرق الأخرى الحديثة التى استخدمت فى تحسين السلالات المرباة داخليًّا، ما يلى:

١ - التهجين الجسمى somatic hybridization:

يفيد التهجين الجسمى فى إنتاج cybrids تحتوى على سيتوبلازم من مصدر آخر كأن تكون سلالات عقيمة الذكر سيتوبلازميًّا.

٢ - الحصول على تباينات وراثية جديدة من مزارع الأنسجة والخلايا للسلالات المرباة داخليًّا.

٣ - الهندسة الوراثية:

استخدمت تقنيات الهندسة الوراثية فى نقل الجين cry من البكتيريا *Bacillus thuringiensis* إلى بعض سلالات الذرة، التى استخدمت - بدورها - فى إنتاج هجن من الذرة مقاومة ليرقات حرشفية الأجنحة. ويبدو أن تلك الطريقة سيكون لها مستقبل كبير فى تحسين السلالات المرباة داخليًّا (عن Singh ١٩٩٣).

إنتاج السلالات الأصيلة من النباتات الأحادية

نظرًا لأن إنتاج السلالات الأصيلة المرباة داخليًّا يتطلب جهدًا كبيرًا، ويستغرق عدة سنوات؛ لذا .. فقد اتجه تفكير بعض الباحثين نحو محاولة استخدام النباتات الأحادية (١ن) فى إنتاج نباتات ثنائية أصيلة (٢ن)؛ بمضاعفتها بالكولشيسين. وكان Chase - فى عام ١٩٤٩ - هو أول من نادى بهذه الطريقة وطبقها فى الذرة، وهو محصول تظهر فيه النباتات الأحادية طبيعيًّا بطريقة التوالد البكرى parthenogensis بمعدل ٠,١٪، وينتج نحو ٩٩٪ من تلك النباتات الأحادية من النمو البكرى لخلية أحادية من الطور الجاميطى الأنثوى.

ويمكن معرفة النباتات الأحادية بسهولة إذا ما زرعت نباتات أحد الأصناف المرغوب فيها المفتوحة التلقيح بالتبادل مع صنف آخر به جين سائد مُعلِّم marker gene لا يوجد فى الصنف المفتوح التلقيح، وتُزال جميع النورات المذكرة من الصنف المفتوح التلقيح؛

لكى يُلقَّح بالصنف الآخر، ثم تحصد بذوره، وتزرع؛ وبذا .. يمكن معرفة النباتات الأحادية الناتجة بطريق التوالد البكرى، وهى التى لا تكون حاملة للصفة السائدة. وقد استخدم Chase لذلك صفة لون النبات القرمزى، وهى صفة سائدة تظهر فى طور البادرة.

ويمكن مضاعفة النباتات الأحادية بسهولة بالكولشيسين؛ لإنتاج نباتات ثنائية أصيلة. كما أن نباتات الذرة الأحادية تميل بطبيعتها للارتداد إلى الحالة الثنائية، لدرجة أن ١٠٪ من النباتات الأحادية غالبًا ما تنتج بذورًا ثنائية عند تلقيحها ذاتيًّا. وقد استخدمت السلالات الأصيلة المنتجة بهذه الطريقة فى إنتاج بعض الهجن (عن Burnham ١٩٦٦)، إلا أن استعمالها لا يزال محدود الانتشار إلى الآن.

مصادر النباتات الأحادية

يمكن الحصول على النباتات الأحادية من المصادر التالية:

١ – من حالات التوالد البكرى لإحدى الخلايا الأحادية التى توجد فى الكيس الجنينى، وهى التى سبقت الإشارة إلى أنها تحدث طبيعيًّا فى الذرة بنسبة تصل إلى ٠,١٪.

٢ – من النباتات الأحادية التى تنشأ بطريقة التوالد البكرى الذكرى Androgensis، وهى الحالات التى تفشل فيها النواة الذكرية فى الاتحاد مع نواة البيضة، وإنما تنمو النواة الذكرية إلى جنين أحادى مباشرة، ويكون سيتوبلازم الخلايا الأحادية هو سيتوبلازم الجاميطة المؤنثة. تحدث هذه الظاهرة بنسبة منخفضة فى الطبيعة. وقد اقترح Chase الاستفادة منها فى نقل صفة العقم الذكرى السيتوبلازمى إلى السلالات المرباة داخليًّا الأصيلة الخصبة.

وللحصول على سلالات ثنائية أصيلة وراثيًّا وذات صفات مرغوب فيها زراعيًّا، يفضل الحصول على النباتات الأحادية من صنف تجارى ناجح كأن يكون هجن جيل أول أو عشيرة منعزلة محسنة. وليمكن الاستفادة من النباتات الأحادية التى تظهر طبيعيًّا – وهى التى تكون نسبتها شديدة الانخفاض – فإنه يتعين التعرف عليها وتمييزها عن النباتات الثنائية. ويفضل لتحقيق ذلك أن تستخدم جينات معلمة يكون فيها الأب

المستخدم فى تلقيح العشيرة التى يراد فيها الانتخاب للنباتات الأحادية – سائدًا أصيلاً، بينما تكون عشيرة الأم متنحية أصيلة؛ حيث تظهر الصفة المتنحية على جميع النباتات الأحادية المتكونة، والتى تكون hemizygous فى تلك الصفة.

٣ – فى حالات تعدد الأجنة الأحادية polyembryony التى تكون مصاحبة للإخصاب، وتكوين الجنين الثنائى الجنسى فى بذور بعض الأنواع النباتية. وتحدث هذه الظاهرة بنسبة أقل من ٠،١٪ فى عدد من الأنواع النباتية. إلا أنها وجدت بنسبة تزيد على ١٠٪ فى الكتان، وهو الذى يستفاد فيه من تلك الظاهرة فى إنتاج السلالات الثنائية الأصيلة.

٤ – تظهر النباتات الأحادية طبيعيًا فى نسل الهجن النوعية والهجن الجنسية. وقد أمكن الاستفادة بهذه الظاهرة فى إنتاج أصناف جديدة؛ بمضاعفة النباتات الأحادية التى ظهرت فى النسل الناتج من التلقيح بين الشعير المزروع *Hordeum vulgare*، والشعير البرى *H. bulbosum*. وتعرف الطريقة المتبعة لإنتاج النباتات الثنائية الأصيلة من هذا التهجين باسم طريقة بلبوزم Bulbosum method.

٥ – يمكن إنتاج النباتات الأحادية بشكل روتينى بواسطة مزارع المتوك وحبوب اللقاح، وهى التى استخدمت لأول مرة مع نوع الداتورة *Datura innoxia*.

مزايا السلالات الثنائية الأصيلة المضاعفة وعيوبها

المزايا

يمكن تلخيص مزايا النباتات الثنائية الأصيلة الناتجة من مضاعفة النباتات الأحادية فيما يلى:

١ – يتم الوصول إلى الإصالة الوراثية بمجرد مضاعفة النباتات الأحادية؛ الأمر الذى يقلل من الوقت اللازم لإنتاج سلالات أصيلة.

٢ – يمكن أن تكون عملية الانتخاب (المفاضلة) بين الأنسال المتجانسة للأفراد الأحادية المتضاعفة أكثر كفاءة من الانتخاب بين أنسال النباتات المرباة داخليًا، أو بين نباتات كل نسل منها فى برامج التربية الداخلية.

٣ – قد تكون النباتات الأحادية المتضاعفة ذاتها أصنافًا جديدة، يمكن إكثارها مباشرة.

٤ – سهولة الانتخاب للصفات السائدة فى النباتات الأحادية؛ حيث لا توجد بها مشكلة التمييز بين الأفراد السائدة الأصيلة، والسائدة الخليطة.

العيوب

إن أهم عيوب النباتات الثنائية الأصيلة الناتجة من مضاعفة النباتات الأحادية، ما يلى:

١ – يتطلب تقييم السلالات الثنائية الأصيلة وقتًا طويلاً نسبيًا؛ حيث لا توجد أية فرصة لعملية التقييم على أساس الشكل الظاهرى خلال مراحل إنتاج النباتات الأصيلة المضاعفة. هذا .. بينما يتمكن المربى من ملاحظة سلوك السلالات فى الحقل فى كل جيل من أجيال التربية الداخلية. وحينما يحين وقت إنتاجها .. فإن المربى يكون قد كوّن فكرة جيدة عنها؛ فلا يتطلب الأمر تقييمًا كثيرًا لها بعد ذلك؛ مثلما تكون عليها الحال فى السلالات الأصيلة المضاعفة من النباتات الأحادية.

٢ – قد يتطلب إنتاج السلالات الأصيلة المضاعفة توفر أجهزة معينة، وخبرة خاصة فى بعض التقنيات الحديثة.

٣ – قد يكون من الصعب التنبؤ بمعدل ظهور الأفراد الأحادية فى العشيرة.

٤ – ربما لا تفوق السلالات الأصيلة المنتجة بمضاعفة النباتات الأحادية السلالات المرباة تربية داخلية.

ولمزيد من التفاصيل عن إنتاج السلالات الأصيلة من النباتات الأحادية .. يراجع Fehr (١٩٨٧).

أنواع الهجن

توجد ثلاثة أنواع رئيسية من الهجن، هى: الهجن الفردية، والهجن الثلاثية، والهجن المزدوجة أو الرباعية.

الهجن الفردية

كان Shull – فى عام ١٩٠٩ – أول من أقترح إنتاج الهجن الفردية Single Crosses فى الذرة؛ وذلك بتهجين سلالتين معًا، على أن يكونا على درجة عالية من القدرة

الخاصة على التآلف. وتنتج الهجن الفردية للذرة بزراعة خطين من السلالة المستعملة كأم بالتبادل، مع خط من السلالة المستعملة كأب، مع إزالة النورات من نباتات السلالة المستعملة كأم، وهى التى تكون أعلاهما محصولاً.

تتميز الهجن الفردية بما يلى:

١ – تظهر بها قوة الهجين بدرجة عالية.

٢ – تكون على درجة عالية من التجانس؛ لأن السلالات المستخدمة فى إنتاجها تكون أصيلة وراثيًا، ولا تحدث بها أية انعزالات وراثية عند إنتاج الجاميطات.

ومن أهم عيوب الهجن الفردية ما يلى:

١ – تكون أسعار تقاويها مرتفعة، ويرجع ذلك إلى الأسباب التالية:

(أ) ضعف محصول السلالات المرباة داخليًا؛ فتقل بذلك كمية البذرة الهجين التى يمكن إنتاجها من وحدة المساحة.

(ب) يفقد ثلث الحقل الإنتاجى فى زراعة السلالة المستخدمة كأب، ويعد ذلك أمرًا ضروريًا، نظرًا لضعف قدرة السلالات المرباة داخليًا على إنتاج حبوب اللقاح، بما لا يسمح بنقص نسبتها عن الثلث فى حقل إنتاج البذور.

تنطبق هذه العيوب – خاصة – على الهجن الفردية فى الذرة الشامية؛ لذا .. فإنها لم تعد مستخدمة فى هذا المحصول، ولكنها تنتج على نطاق واسع فى عديد من المحاصيل الأخرى، مثل البصل، والخيار، والكوسة، والكرنب، والجزر، والبنجر. كما تنتج الهجن الفردية كذلك فى الذرة السكرية، التى تباع تقاويها بأسعار أكثر ارتفاعًا مما فى الذرة الشامية، ولأن التجانس التام فى النمو – وكذلك موعد الحصاد – يعد شرطًا غاية فى الأهمية بالنسبة لعملية الحصاد الآلى فى هذا المحصول، وهو أمر لا يتوفر إلا فى الهجن الفردية.

الهجن الثلاثية

ينتج الهجين الثلاثى Three-way cross بتلقيح هجين فردى بحبوب لقاح من سلالة مرباة داخليًا، ويُزْرَعُ لذلك خطان من الهجين الفردى – الذى تُزال نوراته المذكرة – بالتبادل مع خط من السلالة المستعملة كأب.

وتتميز الهجن الثلاثية بالانخفاض النسبى لأسعار تقاويها؛ لأنها تنتج على هجن فردية قوية النمو. كما تتميز بذورها بأنها كبيرة الحجم ومنتظمة الشكل – لنفس السبب السابق – وهى – بذلك – تصلح للزراعة الآلية. لكن يعيبها أن ثلث الحقل الإنتاجى يفقد فى زراعة السلالة المستخدمة كأب، وهو أمر ضرورى لضعف قدرتها على إنتاج حبوب اللقاح، بما لا يسمح بنقص نسبتها عن الثلث فى حقل إنتاج البذور.

هذا .. وقد أنتجت الهجن الثلاثية فى الذرة، إلا أن استعمالها كان محدودًا، ولايزال كذلك.

الهجن الزوجية (الرباعية)

اقترح Jones فى عام ١٩١٨ إنتاج الهجن الزوجية Double Crosses فى الذرة؛ بتلقيح هجينين فرديين معًا، واستعمال البذور الناتجة كصنف تجارى. وتلزم لإنتاج الهجن الزوجية زراعة أربعة خطوط من الهجين الفردى المستعمل كأم بالتبادل، مع خط من الهجين الفردى المستعمل كأب، مع إزالة النورات المذكرة من خطوط الأمهات (شكل ٧-١).

تتميز الهجن الزوجية بانخفاض أسعارها؛ للأسباب التالية:

١ – تنتج تقاويها على هجن فردية قوية النمو وعالية المحصول.

٢ – يستغل ٨٠٪ من الحقل فى إنتاج البذور؛ لأن الهجين الفردى المستعمل يكون قوى النمو، وينتج حبوب لقاح بوفرة، تسمح بقصر زراعته فى خُمس الحقل الإنتاجى فقط.

وأهم عيوب الهجن الزوجية ما يلى:

١ – تقل درجة التجانس بين نباتات الهجين الزوجى؛ لكثرة ما به من انعزالات وراثية؛ نظرًا لأنه ينشأ بتهجين هجينين فرديين. ويمكن الحد من حالة عدم التجانس هذه بالاختيار الدقيق للسلالات الأربع التى تستخدم فى إنتاج الهجين، بما لا يسمح بحدوث انعزالات فى الصفات الاقتصادية والمورفولوجية الهامة.

٢ – يقل محصول الهجن الزوجية عن الهجن الثلاثية، أو الفردية. ولكن يمكن

الارتفاع بمحصول الهجن الزوجية إلى مستوى يقارب الهجن الفردية بالاختيار الدقيق للسلالات الداخلة فى إنتاجها؛ فقد أوضحت الدراسات التى أجريت فى هذا الشأن أن محصول الهجين الزوجى يزداد بازدياد التباعد الوراثى بين السلالات الداخلة فى إنتاجه. ويحسن – فى حالة اشتراك بعض السلالات فى أصل واحد – أن تستعمل السلالات القريبة من بعضها البعض وراثيًّا فى إنتاج الهجن الفردية؛ بحيث تكون الهجن الفردية المستعملة فى إنتاج الهجين الزوجى بعيدة وراثيًّا عن بعضها البعض. فمثلاً: لو أن السلالات الداخلة فى إنتاج الهجين الزوجى هى أ، ب، جـ، د، وكانت أ ، ب تربطهما صلة قرابة، وكذلك جـ، د فإن الهجين الزوجى يجب أن ينتج بتهجين الهجين الفردى أ ب مع الهجين الفردى جـ د.

هذا .. وينتشر استعمال الهجن الزوجية فى الذرة الشامية على نطاق واسع فى جميع أنحاء العالم، وتستعمل على نطاق ضيق فى الذرة السكرية، وبعض الصليبيات، إلا أنها قلما تستعمل فى المحاصيل الأخرى.

أصناف الهجن المتعددة السلالات

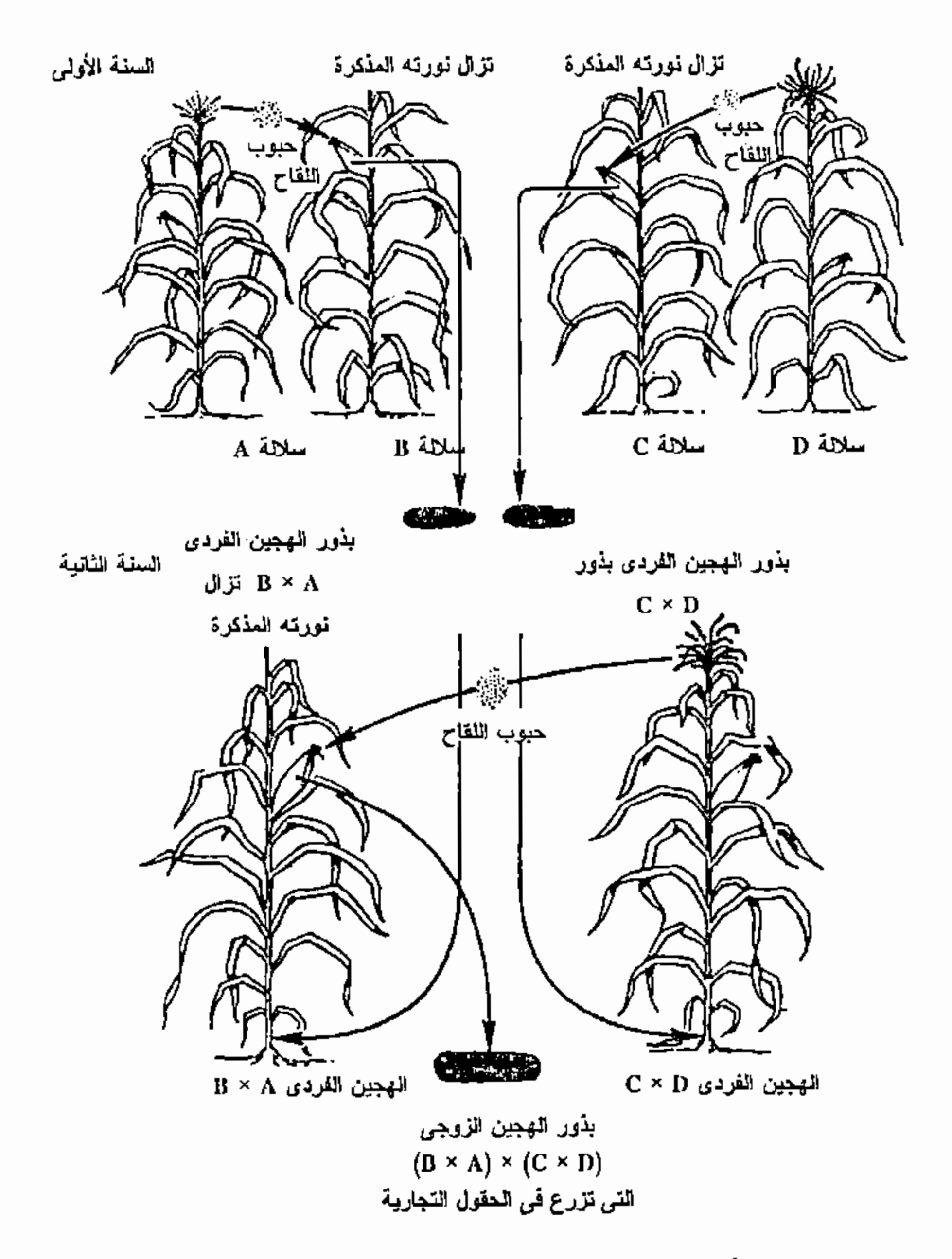
تُعَرَّف أصناف الهجن المتعددة السلالات Composite Varieties بأنها: الأصناف التى تنتج من تهجينات مركبة بدرجة أكبر من الهجن الزوجية (الرباعية) مثل: تهجين هجين زوجى مع هجين فردى؛ أو هجين زوجى مع هجين زوجى آخر، أو هجين سداسى أو ثُمانى مع هجين فردى، أو زوجى، أو سداسى، أو ثمانى؛ فإذا استخدمت ثمانى سلالات فى إنتاج الصنف .. فإن تكوين الصنف قد يكون على النحو التالى:

[(أ × ب) × (جـ × د)] × [(هـ × و) × (ز × ح)]

يشترط فى هذه السلالات أن تكون على درجة عالية من التوافق، ولا يستعمل الهجين المتعدد السلالات نفسه فى الزراعة التجارية، بل يكثر بالتلقيح المفتوح، ثم يستعمل لعدة أجيال فى الزراعة، قبل إعادة تكوينه من جديد.

وقد تستعمل مثل هذه الهجن المتعددة السلالات لبدء برنامج تربية بطريقة انتخاب النسب، أو انتخاب التجميع. ولا تلزم – فى هذه الحالة – أن تكون السلالات متوافقة

معًا، وإنما يشترط أن تكمل بعضها بعضًا فيما يتعلق بالصفات التى ينبغى توفرها فى الصنف الذى يراد إنتاجه.



شكل (٧-١): طريقة إنتاج الهجن الزوجية فى الذرة.

وسائل الاستفادة من الجيل الثانى للهجن

لا ينصح باستعمال الجيل الثانى للهجن فى الزراعة، للأسباب التالية:

١ – يحتوى الجيل الثانى – نظريًا – على نصف قوة الهجين التى توجد فى الجيل الأول. وقد قدر النقص فى المحصول – عمليًا – بنحو ٢٦٪ فى الهجن الزوجية، و ٣٦٪ للهجن الثلاثية، و ٤٨٪ للهجن الفردية. وتجدر الإشارة إلى أن عشائر الجيل الثانى لهذه الهجن ليست سوى أصناف تركيبية، تعتمد – فى تكوينها – على عدد من السلالات أقل مما يوصى به.

٢ – تزيد الاختلافات الوراثية بين أفراد الجيل الثانى بدرجة كبيرة لا يتحقق معها التجانس المطلوب فى الأصناف المحسنة.

هذا .. إلا أن الجيل الثانى يستعمل تجاريًا فى الحالات التى ترتفع فيها أسعار الهجن بدرجة كبيرة حيث تقترب أسعار تقاوى الجيل الثانى من أسعار تقاوى الأصناف العادية، بينما تحتفظ النباتات بنصف قوة الهجين. ولا يمكن – فى هذه الحالة – إكثار الصنف بمزيد من التلقيح الذاتى. ومن أمثلة الهجن التى يستعمل فيها الجيل الثانى – تجاريًا – صنف الطماطم Foremost، والقاوون Market Pride، والبتونيا Violet Blue، والبانسية Seven-Eleven.

كما يستخدم الجيل الثانى فى أغراض التربية؛ حيث يمكن أن يبدأ منه برنامج للتربية الداخلية لإنتاج سلالات جديدة فائقة مرباة داخليًا. كذلك .. قام بعض الباحثين بإنتاج الجيلين الثانى والثالث من الهجن الفردية، ثم إنتاج هجن زوجية بتلقيح نباتات من أى من هذين الجيلين. ومن الطبيعى أن تكون هذه النباتات (آباء الهجن الزوجية) خليطة؛ وبذا .. لا يمكن المحافظة عليها وتكرار إنتاج الهجن للاستعمال التجارى. ونظريًا .. فإن هذه الهجن يجب أن تتساوى – فى غياب الانتخاب لآبائها – مع الهجن الزوجية الناتجة من تلقيح هجن فردية. وقد تأكد ذلك – عمليًا – بعدد من الدراسات (عن Allard ١٩٦٤).

أما محاولات إنتاج الجيل الثانى والأجيال التالية – بالتربية الداخلية – بهدف التوصل إلى آباء الهجن؛ لإعادة إنتاجها؛ فهى محاولات مقضى عليها بالفشل، ولا يمكن أن يفكر فيها شخص ملم بمبادئ التربية؛ فمن المتوقع أن يظهر فى الجيل الثانى

للهجن $٣^{ن}$ تركيب وراثي مختلف؛ حيث (ن) هي عدد العوامل الوراثية الخليطة في الجيل الأول الهجين. وعليه .. فإن عدد التراكيب الوراثية التي يمكن ظهورها في الجيل الثاني يكون كبيرًا للغاية؛ فلو كانت (ن) تساوى ٣٠ – وهو تقدير متواضع للغاية – فإن عدد التراكيب الوراثية التي يحتمل ظهورها يصبح ٢,٠٥٨٩ × $١٠^{١٤}$. ولن يمكن معرفة التراكيب المرغوب فيها منها – للجهل بها ابتداءً – فضلاً على استحالة زراعة هذا العدد من النباتات، أو إخضاع بعضها للتربية الداخلية لعزل سلالتي الآباء بحالة أصيلة.

الظواهر التي يستفاد بها في إنتاج الأصناف الهجين

يستفيد المربي ببعض الظواهر النباتية؛ مثل العقم الذكري، وعدم التوافق، وانفصال الجنس في إنتاج الهجن. ونتناول بالشرح – فيما يلي – كيفية الاستفادة بهذه الظواهر – وغيرها – في عملية إنتاج البذرة الهجين.

العقم الذكرى الوراثى

يستفاد من ظاهرة العقم الذكرى الوراثي في إنتاج الهجن، باستعمال سلالات أمهات، تكون أصيلة في صفة العقم الذكرى (msms)، بينما تكون سلالات الآباء خصبة أصيلة (MsMs)؛ وبذا .. تكون البذرة الهجين – وهي التي تحصد من سلالات الأمهات – خليطة وخصبة (Msms). تنتج هذه الهجن دونما حاجة إلى خصي الأزهار المذكرة، أو إزالة النورات المذكرة من نباتات الأمهات.

وقد استخدمت ظاهرة العقم الذكرى الوراثي في إنتاج الهجن الفردية في كثير من المحاصيل، إلا أنها لا تصلح لإنتاج الهجن الزوجية؛ لأن كلا الهجينين الفرديين المستعملين في إنتاج الهجين الزوجي يكون كل منهما خصب الذكر، في حين يلزم أن يكون أحدهما عقيم الذكر حتى يمكن إنتاج الهجين الزوجي.

ولكي تكون الاستفادة بظاهرة العقم الذكرى الوراثي تامة .. فإنه تلزم توفر وسيلة فعالة لنقل حبوب اللقاح من السلالة الخصبة الذكر إلى السلالة العقيمة الذكر المستعملة كأم، وإلا تطلب الأمر إجراء عملية التلقيح يدويًّا؛ ولهذا السبب .. فإنه لم يمكن

الاستفادة – حتى الآن – من صفة العقم الذكرى فى بعض المحاصيل الذاتية التلقيح مثل الطماطم. فعلى الرغم من توفر عديد من جينات العقم الذكرى فى هذا المحصول .. إلا أن جميع الأصناف الهجين المتداولة تجاريًا تنتج بذورها بالتلقيح اليدوى. ويرجع ذلك إلى قلة النشاط الحشرى فى الطماطم، وضعف قدرة زهرة الطماطم على إنتاج حبوب اللقاح – مقارنة بالمحاصيل الخلطية التلقيح – كما أن برامج مكافحة الآفات المتبعة فى حقول الطماطم تتعارض مع إمكان استخدام الحشرات فى التلقيح.

كذلك توجد محاصيل خلطية التلقيح – كالقرعيات – تتوفر فيها جينات العقم الذكرى، إلا أن جميع أصنافها الهجين المتداولة تجاريًا تنتج بذورها بالتلقيح اليدوى.

ومن أهم الأسباب التى جعلت مربى النبات يعزفون عن الاستفادة من ظاهرة العقم الذكرى – عوضًا عن عملية الخصى فى بعض المحاصيل الذاتية التلقيح كالطماطم، أو عوضًا عن عمليتى الخصى والتلقيح فى بعض المحاصيل الخليطة التلقيح كالقرعيات – ما يلى:

١ – تتميز هذه المحاصيل بإنتاجها أعدادًا كبيرة من البذور من كل تلقيح، مع عدم حاجتها إلى كميات كبيرة من التقاوى لزراعة وحدة المساحة.

٢ – سهولة إجراء التلقيحات اليدوية فيها.

فإذا أضفنا إلى ذلك ضرورة إدخال صفة العقم الذكرى فى سلالات الأمهات، والجهود التى تبذل للتخلص من النباتات الخصبة الذكر التى تظهر فى خطوطها .. لوجدنا أن التلقيح اليدوى يعد أفضل لإنتاج الهجن فى مثل هذه المحاصيل.

ويتطلب الاعتماد على ظاهرة العقم الذكرى الوراثى – فى إنتاج الهجن التجارية – نقل صفة العقم الذكرى لسلالات الآباء. ونظرًا لأن السلالات العقيمة الذكر لا يمكن إكثارها – للمحافظة عليها – بالتلقيح الذاتى؛ لذا .. فإنها تكثر بتلقيحها مع نباتات خصبة خليطة فى صفة العقم الذكرى (Msms)؛ حيث تكون نصف نباتات النسل الناتج عقيمة الذكر أصيلة (msms)، ونصفها الآخر خصبة الذكر خليطة (Msms). ويتطلب الإنتاج التجارى للهجن ضرورة التخلص من هذه النباتات الخصبة فى مرحلة مبكرة من النمو، لأن وجودها يعنى حدوث التلقيح الذاتى.

ويجرى ذلك باتباع إحدى الوسائل التالية:

١ – بإزالة النباتات الخصبة الذكر بمجرد ملاحظتها عند الإزهار. وتتطلب هذه الطريقة أيدى عاملة كثيرة؛ الأمر الذى يقلل من مزايا الاعتماد على ظاهرة العقم الذكرى فى إنتاج الهجن.

٢ – بربط جين الخصوبة – إن أمكن – مع جين يتحكم فى الحساسية لأحد المركبات الكيميائية، ثم التخلص من النباتات الخصبة، بمعاملتها بهذا المركب. وقد اقتُرِحَ – فى هذا المجال – ربط جين الخصوبة فى الشعير بالجين المسئول عن الحساسية لمركب الـ د. د. ت.

٣ – بإدخال جينات معلمة، ترتبط ارتباطاً قويًّا بصفة العقم الذكرى فى السلالات العقيمة الذكر؛ حتى يمكن تمييز النباتات الخصبة الذكر. ومن أمثلة ذلك جين يتحكم فى لون الأليرون فى حبة الذرة، مما يسمح بفرز البذور أليكترونيا قبل زراعتها.

٤ – باستعمال جينات معلمة تكون ذات تأثير متعدد؛ بحيث يسهل تمييز النباتات العقيمة الذكر من النباتات الخصبة. ومن أمثلة ذلك .. ظهور صفة الأوراق الملساء الخالية من الشعيرات فى إحدى سلالات البطيخ العقيمة الذكر، وكذلك ظهور صفة الأوراق الضيقة فى الخس، عند وجود صفة العقم الذكرى، التى يتحكم فيها ثلاثة أزواج من العوامل الوراثية المتنحية.

٥ – بربط جين العقم الذكرى بإحدى حالات الكروموسومات غير العادية، التى قد تؤثر فى صفة ظاهرة كحجم البذرة على سبيل المثال. وقد أمكن ربط صفة خصوبة الذكر فى الذرة بكروموسوم يوجد به نقص مزدوج duplicate-deficient (Dp-Df) ولا ينتقل خلال الجاميطة المذكرة، حيث تحصد البذور التى تحمل جين العقم الذكرى بحالة أصيلة من الهجين:

الأم msms × Dp-Df Msms الأب

وتكثر السلالة ذات النقص الكروموسومى المزدوج بالانتخاب فى نسل السلالة المستخدمة كأب (عن Duvick ١٩٦٦، و Welsh ١٩٨١).

يتبين مما تقدم ضرورة أن يتوفر من كل صنف يستخدم كأم عند إنتاج الهجن

بالاعتماد على ظاهرة العقم الذكرى الوراثى ثلاث سلالات تختلف فى عوامل العقم الذكرى، كما يلى:

١ – السلالة العقيمة الذكر msms، وهى التى تأخذ الرمز A.

٢ – سلالة خصبة الذكر وخليطة فى عامل العقم الذكرى Msms، وهى التى تأخذ الرمز B، وتستعمل فى إكثار السلالة العقيمة الذكر، ولذا .. فإنها تعرف باسم maintainer line.

٣ – يتحصل على السلالة الخصبة الذكر الخليطة بالتلقيح بين السلالة A وسلالة خصبة الذكر أصيلة MsMs (السلالة الثالثة المطلوبة من الصنف ذاته)؛ وجميعها سلالات ذات أصول وراثية متشابهة.

العقم الذكرى السيتوبلازمى

يستفاد من ظاهرة العقم الذكرى السيتوبلازمى فى إنتاج هجن بعض المحاصيل مثل البصل، وبنجر السكر؛ حيث تكون سلالات الأمهات عقيمة الذكر (S) وتصل إليها حبوب اللقاح من سلالات الآباء الخصبة الذكر (F). هنا .. لابد أيضًا من وسيلة طبيعية لنقل حبوب اللقاح، ويتم ذلك إما بواسطة الحشرات كما فى البصل وإما بواسطة الهواء كما فى البنجر.

يكون الهجين الناتج – فى حالة استعمال ظاهرة العقم الذكرى السيتوبلازمى – عقيم الذكر، لأنه يتلقى السيتوبلازم من الأم التى تحمل العامل (S)؛ ولذا .. فإن استعمال هذه الظاهرة فى إنتاج الهجن مقصور على المحاصيل التى تزرع لأجل أجزائها الخضرية، أو أزهارها؛ مثل البصل، والبنجر، ونباتات الزينة. ولا يمكن الاعتماد على هذه الظاهرة فى إنتاج الهجن الفردية من المحاصيل التى تزرع لأجل بذورها، أو ثمارها. إلا إذا خلطت البذرة الهجين الناتجة (وهى التى تحمل العامل S) مع بذور أخرى من الهجين ذاته، يكون قد استعمل التلقيح اليدوى فى إنتاجها؛ حيث تشكل الأخيرة مصدرًا لحبوب اللقاح فى المزارع التجارية لهذا الهجين؛ لأنها تكون خصبة الذكر. ويطلق على هذه الطريقة اسم الخلط Blending.

وقد اتبعت طريقة الخلط هذه – على نطاق واسع – فى إنتاج الهجن الزوجية من

الذرة قبل اكتشاف ظاهرة العقم الذكرى الوراثى السيتوبلازمى. وكان ذلك يجرى بإدخال صفة العقم الذكرى السيتوبلازمى إلى إحدى السلالات الأربع التى تدخل فى تكوين الهجين الزوجى؛ فلو فرض أن كان الهجين الزوجى المراد إنتاجه هو أ ب × جـ د، وأدخلت صفة العقم الذكرى السيتوبلازمى إلى السلالة أ .. فإن هذه السلالة تستعمل كأم فى إنتاج الهجين الفردى أ ب، الذى يكون عقيم الذكر؛ لأنه يتلقى عامل العقم (S) من سيتوبلازم الأم. أما الهجين الفردى جـ د .. فإنه ينتج بطريقة التلقيح اليدوى، ويكون خصب الذكر. ويستعمل الهجين الفردى العقيم أ ب كأم فى إنتاج الهجين الزوجى أ ب × جـ د الذى يكون عقيم الذكر؛ لأنه يتلقى عامل العقم (S) من الأم العقيمة التى هى الهجين الفردى أ ب. وبخلط بذرة الهجين الزوجى أ ب × جـ د المنتجة بهذه الطريقة (وهى التى تحمل العامل S) مع بذور أخرى من الهجين نفسه يكون قد استعمل التلقيح اليدوى فى إنتاجها .. فإن المخلوط الناتج (blend) يمكن زراعته كصنف هجين؛ حيث تشكل البذور الناتجة من التلقيح اليدوى مصدرًا لحبوب اللقاح لأنها تكون خصبة الذكر.

العقم الذكرى الوراثى السيتوبلازمى

يستفاد من ظاهرة العقم الذكرى الوراثى السيتوبلازمى فى إنتاج هجن المحاصيل، التى تزرع لأجل بذورها أو ثمارها؛ مثل الذرة، وذرة المكانس (السرغوم). ويكون التركيب الوراثى للسلالة العقيمة الذكر المستعملة كأم هو Srr، بينما يكون التركيب الوراثى للسلالة الخصبة الذكر المستعملة كأب إما FRR، أو SRR. ويكون الهجين الناتج – فى أى من الحالتين – خصب الذكر، وذا تركيب وراثى SRr.

كما يستفاد من هذه الظاهرة فى إنتاج الهجن الزوجية أيضًا؛ فو كان الهجين الزوجى المطلوب هو أ ب × جـ د فإن الأمر يتطلب – أولاً – إدخال صفة العقم الذكرى الوراثى السيتوبلازمى إلى إحدى سلالتى كل هجين فردى؛ ليصبح تركيبها الوراثى Srr. أما التركيب الوراثى للسلالة الأخرى – لكل هجين فردى – فيكون FRR فى أحد الهجينين الفرديين، و Frr فى الهجن الآخر.

وتكون التراكيب الوراثية للسلالات والهجن الفردية كما يلى:

السلالة	التركيب الوراثى	الشكل الظاهرى	استعمالها
أ	Srr	عقيمة الذكر	أم في الهجين الفردى أ ب
ب	FRR	خصبة الذكر	أب فى الهجين الفردى أ ب
جـ	Srr	عقيمة الذكر	أم في الهجين الفردى جـ د
د	Frr	خصبة الذكر	أب فى الهجين الفردى جـ د

وبذا .. فإن الهجين الفردى أ ب يكون خصب الذكر، وذا تركيب وراثـى SRr، أمـا الهجين الفردى جـ د .. فإنه يكـون عقيـم الذكـر، وذا تركيـب وراثـى Srr. وباستعمال الهجين الفردى جـ د كأم مع الهجين الفردى أ ب الذى يستعمل كـأب .. فـإن نصـف نباتات الهجين الزوجى أ ب × جـ د تكـون خصبـة الذكـر، وذا تركيـب وراثـى SRr، بينما تكون نباتات نصفه الآخر عقيمة الذكر، وذات تركيب وراثى Srr، ويقـوم النصـف الخصب بإمداد جميع النباتات فى الحقل بحبوب اللقاح اللازمة.

وتتميز هذه الطريقة بعدم الحاجة إلى إزالة النورات المذكرة من السلالات، أو الهجـن الفردية المستعملة كأمهات فى جميع مراحل إنتاج الهجين الزوجى. ولكن يعـاب عليـها صعوبة إدخال الجين R إلى السلالات المسـتعملة كآبـاء؛ لأن الجـين لا يمكـن تتبعـه إلا باختبار النسـل.

كذلك .. يستفاد من ظاهرة العقم الذكـرى الوراثـى السـيتوبلازمى فـى إنتـاج الهجـن الفردية التجارية من البصل؛ حيث تلزم ثلاث سلالات لإنتـاج كـل هجـين، وهـى كمـا يلى:

السلالة	التركيب الوراثى	الشكل الظاهرى
أ أو A	Srr	عقيمة الذكر
ب أو B	Frr	خصبة الذكر
جـ أو C	FRR	خصبة الذكر

تعرف السلالة B – كذلك – باسم maintainer line، كما تعرف السلالة C – أيضًـا – بالاسمين R-line، و restorer line (Allard ١٩٦٤).

تتماثل السلالتان (أ، ب) تمامًا فى كل صفاتها فيمـا عـدا صفـة العقـم الذكـرى. أمـا

السلالة (جـ) .. فتسمى القرين المفضل good combiner، وتكون ذات قدرة عالية على التوافق مع السلالة (أ)؛ لتعطى الهجين المرغوب فيه وتزرع السلالتان (أ،ب) فى خطوط بالتبادل، وتحصد بذور كل سلالة على حدة؛ فتكون البذور الناتجة من السلالة (أ) نسلاً للسلالة (أ)، والبذور الناتجة من السلالة (ب) نسلاً للسلالة (ب)، علمًا بأن حبوب لقاح السلالة (ب) تلقح كلاً من السلالتين (أ، ب). أما السلالة (جـ) .. فإنها تزرع فى قطعة أرض منعزلة؛ لإكثارها، والمحافظة عليها بالتلقيح الخلطى الطبيعى بين نباتاتها.

ولإنتاج بذرة الهجين التجارى .. تزرع السلالتان (أ، جـ) معًا فى قطعة أرض معزولة، بمعدل خط من السلالة (جـ) لكل ٤-٦ خطوط من السلالة (أ)، أو بمعدل خطين من السلالة (جـ) لكل ثمانية خطوط من السلالة (أ). ولمزيد من التفاصيل عن إنتاج هجن البصل .. يراجع Pike (١٩٨٦).

عدم التوافق

كان O. H. Pearson فى عام ١٩٣٢ هو أول من اقترح الاستفادة من ظاهرة عدم التوافق فى إنتاج الهجن التجارية. كما ذكر Attia & Munger (عن Wallace & Nasrallah ١٩٦٨) أن هذه الظاهرة تتسبب فى حدوث التلقيح الخلطى فى الكرنب بنسبة ٩٠-١٠٠٪، وأن هذه النسبة تعد جيدة لإنتاج البذرة الهجين. وتشيع - حاليًا - (عن Lidel & Anderson ١٩٩٣) الاستفادة من هذه الظاهرة فى إنتاج هجن عديد من المحاصيل، خاصة النباتات الصليبية؛ مثل الكرنب، والقنبيط، وكرنب بروكسل، والكيل، والكرنب الصينى التى توجد فيها ظاهرة عدم التوافق الاسبوروفيتى. ويشترط لإنتاج الهجين أن تكون سلالتا الأبوين غير متوافقتين ذاتيًا، بينما تكونان متوافقتين خلطيًا مع بعضهما؛ أى إن كلاً منهما تكون ملقحة للأخرى؛ وبذا .. تحصد البذرة الهجين من كلتا السلالتين فى حقل إنتاج البذور.

ومن أهم المشاكل التى تواجه إنتاج هجن الصليبيات - بالاعتماد على ظاهرة عدم التوافق - ما يلى:

١ - يلزم دراسة نوع التفاعل الآليلى، الذى يوجد بكل سلالة قبل البدء فى إنتاج البذرة الهجين.

٢ – لا تكون صفة عدم التوافق ثابتة فى كل الظروف البيئية.

٣ – ضعف السلالات المرباة داخليًّا.

ويستفاد من ظاهرة عدم التوافق فى إنتاج الهجن الفردية، والثلاثية، والزوجية (الرباعية). وتنتج الهجن الثلاثية بالتلقيح بين هجين فردى غير متوافق ذاتيًّا كأم، وسلالة مرباة داخليًّا كأب، بينما تنتج الهجن الزوجية بالتلقيح بين هجينين فرديين. على أن يكون الهجين الفردى المستعمل كأم غير متوافق ذاتيًّا. ويمكن حصاد البذرة الهجين من كلا الأبوين – أيًّا كان نوع الهجين – إذا كان الأبوان غير متوافقين ذاتيًّا؛ فحينئذ .. يصبح كل منهما ملقحًا للآخر، وتكون البذرة الهجين الناتجة من كليهما متماثلة فى تركيبها الوراثى، إلا إذا وجدت صفات معينة تتأثر بالأم، أو تورّث عن طريقها.

هذا .. إلا أن كثيرًا من هجن الصليبيات التى تنتج فى الولايات المتحدة هى من نوع التلقيحات القمية Topcrosses؛ حيث يستخدم صنف تجارى ناجح مفتوح التلقيح كملقح لسلالة عديمة التوافق ذاتيًّا تستخدم كأم. كما تنتج – أيضًا – تلقيحات قمية ثلاثية باستخدام صنف تجارى مفتوح التلقيح كملقح لهجين فردى غير متوافق ذاتيًّا (Dickson & Wallace ١٩٨٦).

انفصال الجنس

يستفاد من حالات انفصال الجنس فى إنتاج الهجن على النحو التالى:

أولاً: حالات النباتات الوحيدة الجنس الوحيدة المسكن Monoecious

عندما يكون النبات وحيد الجنس وحيد المسكن (أى عندما يحمل أزهارًا مذكرة وأخرى مؤنثة) .. فإن إنتاج الهجين يكون أمرًا ميسورًا؛ حيث لا يلزم سوى إزالة الأزهار المذكرة – أولاً بأول – من السلالة المستعملة كأم. ويستفاد من هذه الظاهرة فى إنتاج الهجن التجارية من الذرة؛ وذلك بإزالة النورة المذكرة detasseling من خطوط سلالات الأمهات قبل تفتح أزهارها. وتتطلب هذه العملية كثيرًا من الأيدى العاملة، إلا أنها تجرى آليًّا. وتحصد البذرة الهجين من النباتات التى أزيلت نوراتها المذكرة.

ومن أهم متطلبات هذه الطريقة توفير عزل جيد لحقل إنتاج البذور حتى لا تصله حبوب لقاح من مصادر أخرى خارج الحقل. ويتم العزل إما بتوفير مسافة كبيرة خالية

من نباتات الذرة حول حقل إنتاج البذور، وإما بزراعة المنطقة المحيطة بحقل إنتاج التقاوى بالسلالة المستخدمة كأب؛ لضمان تواجد كثافة عالية من حبوب لقاح الأب المرغوب فيه. كذلك .. تجب العناية بإزالة النورات المذكرة بحيث لا تتسبب فى حدوث أضرار للنباتات. وتجرى هذه العملية على مراحل لأن النباتات لا تزهر كلها فى وقت واحد. ورغم إمكان إجراء هذه العملية آليًّا، إلا أنه يجب أن تؤخذ فى الحسبان احتمالات إجرائها – يدويًا – فى حالة سقوط الأمطار فى وقت حرج؛ حيث يستحيل – حينئذ – مرور الآلات فى الحقل.

ويزرع حقل إنتاج البذور – عادة – بستة خطوط من سلالة الأم، بالتبادل مع خطين من سلالة الأب. ويمكن بهذه الطريقة حصاد الآباء منفردة مع المحافظة على نقاوة البذرة الهجين. ويُتخلص – أحيانًا – من نباتات سلالة الأب؛ بحرثها فى الأرض، أو تكسير سيقانها بعد التلقيح (عن Welsh ١٩٨١).

ثانيًا: حالات النباتات الوحيدة الجنس الثنائية المسكن Dioecious

عندما يكون النبات وحيد الجنس ثنائى المسكن (أى عندما توجد نباتات مذكرة وأخرى مؤنثة) .. فإن إنتاج البذرة الهجين يتم بزراعة سلالات الآباء فى خطوط متبادلة، ثم إزالة النباتات المذكرة من خطوط السلالة المستعملة كأم، قبل انتشار حبوب اللقاح منها. وتتبع هذه الطريقة فى إنتاج هجن السبانخ التى يكون التلقيح فيها – خلطيًّا – بالهواء.

ثالثًا: حالات النباتات المؤنثة

تستعمل السلالات المؤنثة gynoecious فى إنتاج هجن الخيار، حيث تزرع كأمهات فى خطوط متبادلة مع سلالات الآباء، ويترك الحقل للتلقيح الخلطى الطبيعى بالحشرات. ونظرًا لأن حالة الأنوثة صفة بسيطة؛ لذا .. فإنها تظهر فى الجيل الأول الهجين، الذى لا يحمل – بدوره – سوى أزهار مؤنثة فقط.

ويتطلب عقد الثمار – فى الحقول التجارية للأصناف الهجين الأنثوية – توفر أحد الشروط التالية:

١ – أن يكون الصنف قادرًا على العقد البكرى للثمار parthenocarpic، وتتوفر هذه الصفة فى معظم أصناف الخيار الأنثوية.

٢ – أن تخلط البذرة الهجين ببذور أحد الأصناف الشبيهة الوحيدة الجنس الوحيدة السكن؛ حتى تكون مصدرًا لحبوب اللقاح. وتقوم شركات البذور – عادة – بخلط بذور الملقحات – هذه – بنسبة ١٢–١٥٪ مع الهجن الأنثوية.

٣ – ألا يكون الصنف تام الأنوثة؛ حيث لا تظهر صفة الأنوثة كاملة وهى بحالة خليطة فى بعض الخلفيات الوراثية. ويمكن بالاختيار الدقيق للسلالة المستعملة كأب إنتاج هجن لا تكون تامة الأنوثة، بل تحمل عددًا قليلاً – نسبيًّا – من الأزهار المذكرة التى تنتج حبوب اللقاح اللازمة للتلقيح (عن Duvick ١٩٦٦).

التقارن التفضيلى الكامل

يحدث – أحيانًا – عند إجراء تهجين بين صنفين، ثم مضاعفة كروموسومات الجيل الأول أن تفضل الكروموسومات الآتية – من كل صنف – الاقتران مع بعضها البعض عند الانقسام. وتعرف هذه الظاهرة باسم التقارن التفضيلى الكامل Complete Preferential Pairing. وإذا حدثت الظاهرة بشكل تام .. فإنه لا تحدث أية انعزالات فى نسل الجيل الأول الهجين؛ وبذا .. يمكن المحافظة عليه وإكثاره، دونما حاجة إلى إعادة التهجين سنويًّا.

النباتات الثلاثية الكروموسوم من الدرجة الثالثة

تحتوى النباتات الثلاثية الكروموسوم من الدرجة الثالثة Tertiary Trisomics على كروموسوم واحد زائد، يتكون من جزأين من كروموسومين غير متماثلين، وهى حالة نادرة الوجود فى الطبيعة. وقد اقترح الاستفادة من هذه الظاهرة فى إكثار سلالات الأمهات العقيمة الذكر؛ لأنها لا تسمح بظهور نباتات خصبة الذكر فى خطوط الأمهات، وهى النباتات التى يلزم التخلص منها – عند اتباع طريقة الإكثار العادية للنباتات العقيمة الذكر – بذل جهد كبير، وقد بدأ تطبيقها فى الشعير.

يعتمد تطبيق هذه الظاهرة – فى إكثار السلالات العقيمة الذكر – على أساس أن

التراكيب الكروموسومية غير الطبيعية، لا تنتقل - عادة - عن طريق حبوب اللقاح؛ حيث تكون جميع حبوب اللقاح الخصبة طبيعية. ويؤدى التلقيح الذاتى للنباتات الثلاثية الكروموسوم من الدرجة الثالثة إلى إنتاج بذور طبيعية، وأخرى بها الظاهرة. وتكون البذور الأخيرة فى الشعير صغيرة ومتغضنة (مجعدة)، ويسهل فصلها - آليًّا - عن البذور الطبيعية.

يتطلب الأمر بعض الهندسة الكروموسومية لوضع الآليل السائد للخصوبة (Ms) بالقرب من موقع الالتحام بين جزأى الكروموسومين غير المتماثلين فى الكروموسوم الزائد، بينما يكون آليل العقم الذكرى المتنحى (ms) فى الكروموسوم الطبيعى. ونظرًا لأن العبور يقل بشدة فى أجزاء الكروموسوم الزائد القريبة من منطقة الالتحام، لذا .. فإنه يتكون نوعان فقط من الجاميطات، يكون أحدهما طبيعيًّا والآخر يحتوى على الكروموسوم الزائد. وكما سبق الذكر .. فإن حبوب اللقاح التى تحتوى على الكروموسوم الزائد لا تكون خصبة، ولا تشارك فى تكوين النسل؛ وينتج عن ذلك .. أن تكون نصف البذور الناتجة من التلقيح الذاتى لهذا النبات (الثلاثى الكروموسوم من الدرجة الثالثة) طبيعية، وتحمل جين العقم الذكرى بحالة أصيلة، بينما يحمل نصفها الآخر الكروموسوم الزائد - المحتوى على آليل الخصوبة السائد - وتكون صغيرة ومتغضنة (شكل ٧-٢)، ويسهل فصلها - آليًّا - قبل الزراعة. وبهذه الطريقة يسهل إكثار السلالات العقيمة الذكر بطريق التلقيح الذاتى.

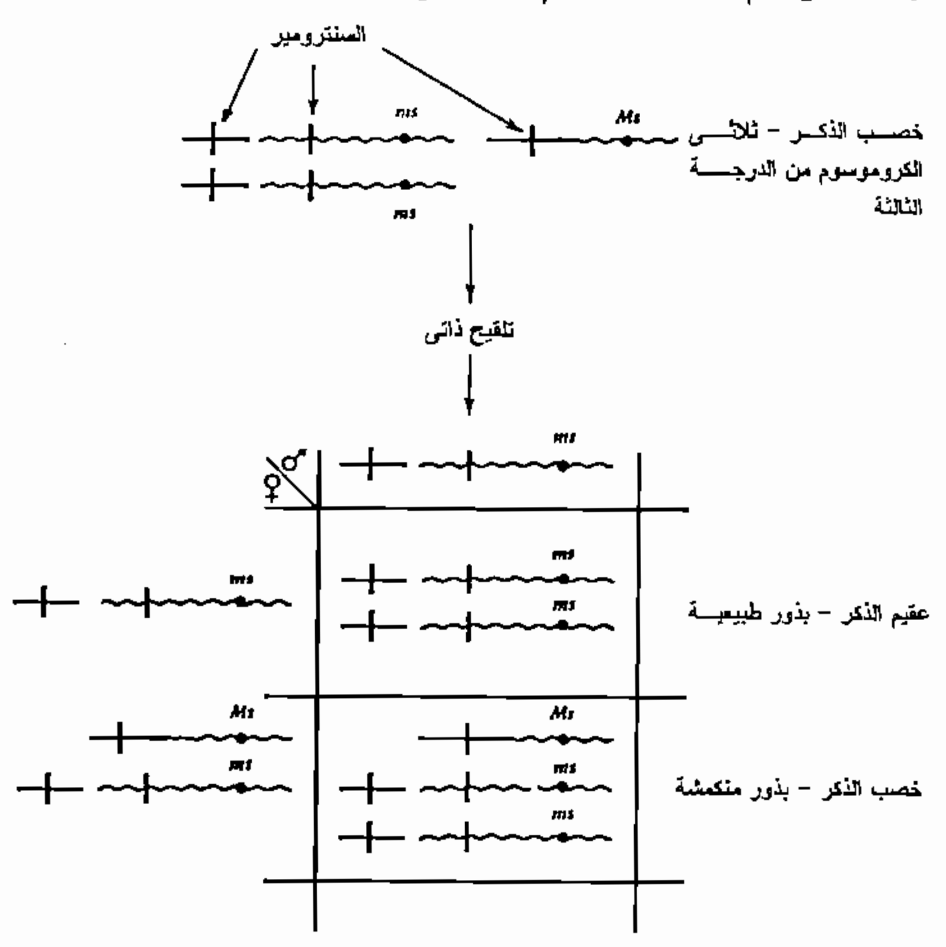
التكاثر اللاإخصابى

تنتشر ظاهرة التكاثر اللاإخصابى فى كثير من الأنواع النباتية، وقد اقترح البعض الاستفادة بها؛ كوسيلة لإكثار الصنف الهجين بعد إنتاجه؛ ذلك لأن الأجنة اللاإخصابية تكون مشابهة للأم تمامًا فى تركيبها الوراثى. ويذكر Sprague (١٩٦٧) أن ظاهرة التكاثر اللاإخصابى تستخدم فى إنتاج بذور هجن النوع المحصولى Argentina Bahia Grass.

استخدام مبيدات الجاميطات فى إنتاج الهجن

يستعمل مصطلح مبيدات الجاميطات gametocides فى وصف المركبات الكيميائية

التى تُحدث المعاملة بها عقمًا ذكريًا، دون أن يكون لها تأثير فى خصوبة البويضـة. وإذا كانت هذه المركبات على درجة عالية من الكفاءة .. فإنها يمكن أن تحدث عقمًـا ذكريًـا فى أية سلالة تربية يراد استخدامها كأم فى الهجن، وهو ما يلغى الحاجـة إلى الهجـن الرجعية التى تلزم لإدخال صفة العقم الذكرى فى هذه السلالات.



شكل (٧-٢): تخطيط يبين كيفية استعمال النباتات الثلاثية الكروموسوم من الدرجة الثالثة tertiary trisomics فى إكثار السلالات العقيمة الذكر.

ولكى تكون هذه المركبات نافعـة حقًا .. فإنـها يجـب أن تكـون مؤثـرة فـى حبـوب اللقاح، دون أن يكون لها تأثير فى البويضات، وألا يكون لهـا تأثـير مُطفر، وأن يكـون اسـتعمالها اقتصاديًا وسهلاً، وألا يكون لها تأثـيرات جانبيـة ضـارة. ونظـرًا لأن الإزهـار

يمتد فترة طويلة فى عديد من المحاصيل؛ لذا .. فإنه يفضل أن تكون هذه المركبات جهازية، أو أن تربى سلالات من النباتات يتركز فيها الإزهار خلال فترة قصيرة نسبيًا، وإلا فإنه قد تلزم المعاملة عدة مرات بالمركب (Riggs ١٩٨٨).

يقتصر استعمال مبيدات الجاميطات – فى الوقت الحاضر – على إنتاج هجن بعض محاصيل الحبوب.

وفى محاصيل الخضر .. اختبر ١٥ مركبًا كمبيدات جاميطات، ووجد أن الماليك هيدرازيد – بتركيز ١٠٠–٥٠٠ جزء فى المليون – كان أكثرها فاعلية؛ حيث أحدث نسبة عالية من العقم فى حبوب اللقاح فى الباذنجان، والفلفل، والطماطم، دون أن يؤثر – سلبيًا – فى الأعضاء الزهرية الأنثوية، وكانت أفضل المعاملات هى رش النموات الخضرية قبل تفتح الأزهار بتركيز ١٠٠ جزء فى المليون فى الباذنجان والبصل، و ١٠٠–١٥٠ جزء فى المليون فى الطماطم، و ٤٠٠–٥٠٠ جزء فى المليون فى الباميا والفلفل.

كما أفاد – أيضًا – استعمال مركب 2,3-dichloroisobutyrate (الذى يعرف باسم Mendox) مع الطماطم؛ حيث أحدث نسبة عالية من العقم فى حبوب اللقاح، إلا أنه كان له تأثير سلبى فى النمو النباتى وعقد الثمار (George ١٩٩٩).

واستُخدم – أيضًا – كل من GA_3، و $GA_{4/7}$ مع كل من الخس والطماطم.

كما استعملت منظمات النمو – مثل الإثيفون – فى تثبيط إنتاج الأزهار المذكرة فى سلالات الأمهات من القرعيات.

العوامل المؤثرة فى كفاءة عملية التلقيح بين سلالات آباء الهجن

تتأثر كفاءة عملية التلقيح – بين سلالات آباء الهجن – بعدد من العوامل، لعل من أبرزها ضرورة توافق موعد الإزهار فى سلالتى الآباء، وهو ما يعرف باسم nicking. هذا .. علمًا بأن توافق الإزهار فى موسم معين، وفى منطقة معينة لا يعنى بالضرورة أن يستمر التوافق فى مواسم أو مناطق أخرى، ويستدل على ذلك بالخبرة. ويمكن تعديل موعد زراعة إحدى السلالتين؛ بحيث تزدهر فى موعد إزهار السلالة الأخرى.

وتحدث معظم المشاكل حينما يُعتمد على الحشرات فى عملية التلقيح، فالنحل الذى يجمع حبوب اللقاح يميل إلى الإكثار من زيارة السلالات الخصبة الذكر، بينما يقضى وقتًا أقل مع السلالات العقيمة الذكر، وحتى حينما تكون سلالتا الآباء خصبتين – كما فى حالة الاعتماد على ظاهرة عدم التوافق فى إنتاج الهجن – فإن النحل قد يفضل إحدى السلالتين على الأخرى لأسباب قد ترجع إلى لون البتلات، أو تركيز الرحيق بها، أو ارتفاع النبات. كما يميل النحل – أحيانًا – إلى البقاء على السلالة التى بدأ بها فى أول زيارته للحقل بدلاً من التحرك بطريقة عشوائية.

كذلك لا يفيد النحل فى التلقيح داخل أقفاص العزل السلكية، أو المصنوعة من الشاش، أو القماش (Cages)، بل على العكس .. فإنه يضر فيها الأزهار، نظرًا لأنه لا يميل إلى البقاء داخل الأماكن الصغيرة المغلقة. وقد أوضحت الدراسات – التى أجريت فى هذا المجال – أن النحل يحدث أضرارًا بمياسم أزهار البصل، ويتسبب فى نقص محصول البذور. وأفضل الحشرات للتلقيح داخل الأماكن الضيقة كهذه .. الذبابة السُّروُء Blowfly، وهى ذبابة تضع بيضها على اللحم.

هذا .. إلا أنه يمكن استخدام النحل فى التلقيح عند إنتاج التقاوى فى البيوت المحمية، فقد أنتج Dowker وآخرون (١٩٨٥) تقاوى هجن البصل فى بيوت بلاستيكية، أبعادها ٥ × ١٦م. وكان محصول البذرة الهجين ومحصول بذرة السلالة الخصبة الذكر المستعملة كأب أعلى – عندما استخدم النحل فى التلقيح – عما كانت عليه الحال عندما استخدمت الذبابة السروء. وقد بدا واضحًا فى هذه الدراسة أن النحل كان أكثر نشاطًا فى الجو الصحو. وأن الذبابة كانت أقل نشاطًا عند ارتفاع درجة الحرارة داخل الأنفاق. وتتعارض هذه النتائج مع نتائج دراسة مماثلة، أجريت على إنتاج بذور الكرنب بروكسل الهجين داخل الأنفاق، والتى كانت فيها الذبابة السروء أفضل كثيرًا من النحل، الذى كان يميل إلى زيارة أزهار إحدى سلالتى الآباء فقط، ولا يتحرك بينهما لإتمام التلقيح.

الفصل الثامن

الأصناف التركيبية

تنتج الأصناف التركيبية (أو المخلقة) synthetic varieties فى المحاصيل الخلطية التلقيح فقط؛ لأن الصنف يتم تركيبه – أولاً – من كل التهجينات المكنة بين مجموعة من التراكيب الوراثية المتآلفة، ثم يترك – بعد ذلك للتلقيح المفتوح لإكثاره. وتُستعمل الأصناف التركيبية – تجاريًا – لعدة أجيال قبل إعادة تركيبها من جديد.

ويختلف الصنف التركيبى عن الأصناف المنتجة بطريقة الانتخاب الإجمالى فى أن الأول يُركب من تراكيب وراثية، سبق اختبار قدراتها على التآلف فى كل التلقيحات المكنة، بينما يتكون الصنف الناتج من الانتخاب الإجمالى من تراكيب وراثية جديدة مخلوطة – معًا – دون سابق معرفة بقدرتها على التآلف.

وبعبارة أخرى .. فإن الصنف التركيبى يعد جيلاً متقدمًا لخليط من بذور مجموعة من السلالات البذرية، أو السلالات الخضرية، أو السلالات المرباة داخليًا، أو الهجن بينهم؛ وتركت للتلقيح الخلطى العشوائى لعدد من الأجيال. وتتم المحافظة على مكونات المخلوط من السلالات لأجل إعادة تركيب الصنف على فترات منتظمة كل عدة سنوات.

وقد أنتجت الأصناف التركيبية فى محاصيل المراعى، خاصة: البقولية، والنجيلية، كما أنتجت فى بنجر السكر، ودوار الشمس، والكرنب، وغيره من الصليبيات، ولكنها لم تكن ذات شأن كبير فى الذرة، برغم أنه هو المحصول الذى أجريت عليه الدراسات الأساسية الخاصة بطريقة إنتاج الأصناف التركيبية.

ولقد كثر اتباع هذه الطريقة فى تحسين محاصيل المراعى بصفة خاصة، وهى محاصيل لا يصلح معها الانتخاب بين أنصاف الأشقاء، والأشقاء، وال S_1 لعدة أسباب، من بينها: انتشار ظاهرة عدم التوافق الذاتى فى كثير من تلك المحاصيل، وصغر كمية البذور التى تنتج من كل تلقيح منها، وصعوبة إجراء التلقيحات اليدوية فيها.

يعتمد تصميم تلك الطريقة فى التربية على الاستفادة الجزئية من قوة الهجين التى تظهر فى الصنف خلال الأجيال الأولى لإكثاره.

ومن أهم سمات التربية بإنتاج الأصناف التركيبية، ما يلى:

١ – يُكوَّن الصنف من خلط بذور سلالات يمكن إكثارها، من محصول خلطى التلقيح (مثل السلالات الخضرية فى نباتات المراعى، والسلالات المرباة داخليًّا فى الذرة وبنجر السكر).

٢ – يتم انتخاب السلالات المكوِّنة للصنف بناء على سلوكها فى اختبارات سابقة للقدرة على التآلف.

٣ – يتشكل الصنف المخلق بالتلقيح الخلطى العشوائى بين الوحدات المكونة له.

٤ – يُحافظ على السلالات المكونة للصنف لأجل إعادة تكوينه على فترات منتظمة.

خطوات إنتاج الصنف التركيبى

تتشابه الأسس العامة لطريقة إنتاج الصنف التركيبى فى كل من النباتات الجنسية التكاثر، والخضرية التكاثر المعمرة، ولكنهما يختلفان فى بعض التفاصيل، ولذا .. فإننا نتناول كل منهما بالشرح منفصلين.

أولاً: النباتات الجنسية التكاثر

يمر إنتاج الصنف التركيبى فى المحاصيل الجنسية التكاثر بالمراحل التالية:

١ – اختيار الآباء:

غالبًا ما تكون الآباء عبارة عن سلالات أصيلة مرباة داخليًّا، إلا أنها قد تكون على درجة أقل من الأصالة الوراثية، وناتجة من التربية الداخلية بين نباتات النسل الواحد (sibling).

يشترط فى الآباء المنتخبة أن تكون على درجة عالية من التآلف فى جميع التلقيحات الممكنة بين بعضها البعض، وتلك هى المكونات الأساسية للصنف التركيبى، وهى التى يطلق عليها اسم مكونات الأساس للصنف التركيبى أو Syn-0. ويتراوح عدد الآباء التى تدخل فى تكوين الصنف التركيبى – عادة – من ٤–١٠، ويفضل العدد الكبير من

السلالات مادامت على درجة عالية من التآلف، لكنه كثيرًا ما يصعب التوصل إلى هذا العدد من السلالات المتآلفة، ويحسن – في هذه الحالة – الاكتفاء بعدد أقل من السلالات على أن تكون على درجة عالية من التآلف.

٢ – إنتاج الهجن الفردية:

تنتج كل الهجن الفردية الممكنة بين السلالات التي اختيرت، ثم تخلط كميات متساوية من بذور كل هجين معًا. ويطلق على هذا الجيل اسم الجيل التركيبي الأول Syn-1.

٣ – تزرع بذور الجيل التركيبي الأول للتقييم، وتترك للتلقيح الخلطي العشوائي؛ لإنتاج الجيل التركيبي الثاني Syn-2.

٤ – تزرع بذور الجيل التركيبي الثاني للتقييم، وتترك للتلقيح الخلطي العشوائي؛ لإنتاج الجيل التركيبي الثالث Syn-3.

وتستعمل بذور الجيل التركيبي الثالث Syn-3، وبذور الجيل التركيبي الرابع Syn-4 في الإنتاج التجاري. كما تستعمل – كذلك – بذور الجيل التركيبي الثاني في الإنتاج التجاري، عند إعادة تكوين الصنف. ولكن لا تستعمل بذور الجيل التركيبي الخامس، أو الأجيال التركيبية التالية له في الإنتاج التجاري.

ثانياً: النباتات الخضرية التكاثر

يعني بالنباتات الخضرية التكاثر المعمرة تلك التي يمكن إكثارها خضريًا، على الرغم من إنتاجها للبذور بصور طبيعية، ومع ضرورة أن يكون التلقيح فيها خلطيًا.

يمر إنتاج الصنف التركيبي في تلك النباتات (وخاصة في محاصيل المراعي) بالمراحل التالية:

١ – اختيار السلالات الخضرية من عشيرة المصدر:

تجمع النباتات التي يبدأ بها برنامج التربية – في حالة محاصيل المراعي – من مصادر متعددة؛ لتأمين الحصول على خلفية وراثية عريضة؛ فهي قد تأتي من مراعٍ متواجدة، أو من أصناف محسنة، أو من مدخلات نباتية، أو من عشائر مجمعة معًا بعد خضوعها لعدة دورات من الانتخاب المتكرر لصفة معينة، أو من مصادر أخرى. ويجب

أن تكون السلالات الخضرية قوية النمو وذا قدرة إنتاجية عالية ليمكن المحافظة عليها بسهولة. وتعرف العشيرة التى تجمع منها النباتات المنتخبة باسم عشيرة المصدر.

٢ – عمل مشتل للسلالات الخضرية clonal line nursery:

تستعمل عدة مئات من النباتات المتميزة التى أنتجت من العشيرة الأصيلة، وتكثر لتصبح سلالات خضرية فى مشتل خاص يعرف بمشتل السلالات الخضرية. تتكون كل سلالة خضرية فى المشتل من ٢٠–٢٥ نباتًا مكثرة خضريًا من النبات الأصلى المنتخب. تقيم السلالات الخضرية لصفات قوة النمو، والقدرة على البقاء، والصفات الأخرى التى يكون مرغوبًا فيها، وقد يُعَرَّض المشتل لظروف بيئية قاسية لأجل الانتخاب لصفة القدرة على تحمل تلك الظروف. وبناء على ذلك التقييم تنتخب أفضل ٢٥–٥٠ سلالة.

٣ – عمل التلقيح المتعدد making the polycross:

يحصل على البذور التى تلزم لإجراء اختبار سلوك النسل بعمل تلقيح متعدد polycross، وهو يتم بين مجموعة من السلالات الخضرية المعزولة والمكررة بطريقة تسمح بأن تلقح كل سلالة بعينة عشوائية من لقاح جميع السلالات الخضرية الأخرى. تزرع فى هذا المشتل السلالات التى سبق انتخابها (٢٥–٥٠ سلالة) فى مكررات؛ فيما يعرف بالـ polycross nursery، وتحصد بذور كل سلالة خضرية على حدة، مع المحافظة على هوية السلالة.

٤ – اختبار نسل التلقيح المتعدد polycross progeny test:

تزرع البذور الناتجة من التلقيح المفتوح فى كل سلالة فى مكررات لتقييم المحصول والصفات الأخرى. ويتم على أساس هذا التقييم اختيار ٥–١٠ سلالات خضرية كمكونات للصنف التركيبى.

٥ – جيل البداية للصنف التركيبى Syn-0 generation:

تكثر السلالات التى تم انتخابها (٥–١٠ سلالات) خضريًا، وتشتل عشوائيًا فى حقل معزول لإنتاج البذور، ويشكل ذلك الـ Syn-0 generation. ويؤدى التلقيح الخلطى العشوائى بين سلالات الـ Syn-0 إلى الحصول على تراكيب وراثية جديدة فى الـ Syn-0 generation.

٦ – يلى ذلك زراعة بذور الـ Syn-0 لإنتاج بذور الـ Syn-1، وهى التى قد توزع

كصنف جديد، أو تعاد زراعتها لإنتاج الـ Syn-2 إن لم تكن كمية بذور الـ Syn-1 كافية. وفي كثير من الأحيان يتطلب الأمر زراعة بذور الـ Syn-2 لإنتاج الـ Syn-3 قبل توزيع بذور الصنف الجديد على المزارعين. هذا مع العلم بأن قوة النمو تتناقص في كل جيل من الإكثار بعد الـ Syn-1 (شكل ٨-١).

ويمكن استعمال الـ Syn-1 في بدء برنامج لإنتاج صنف تركيبي جديد يأخذ في الحسبان مبدأ الانتخاب المتكرر.

اختبار القدرة على التآلف بين السلالات المكونة للصنف التركيبي

يتبع في اختبار القدرة على التآلف للسلالات الداخلة في تكوين الصنف التركيبي نفس الخطوات التي ذكرت آنفًا بالنسبة لاختبار القدرة على التآلف في الهجن الفردية، علمًا بأن اختبار التلقيح القمي topcross يفيد كثيرًا في خفض عدد السلالات التي يلزم اختبار قدرتها الخاصة على التآلف. كما يتبع اختبار آخر يعرف باختبار التلقيح المتعدد polycross test، للوصول إلى نفس الهدف.

ويجرى الاختبار بزراعة جميع السلالات التي يُراد اختبار قدرتها على التآلف معًا، في قطعة أرض معزولة وصغيرة نسبيًا ومقسمة إلى مساحات متساوية، تتوزع فيها السلالات عشوائيًا مع تكرار زراعة كل منها في نفس العدد من المكررات. وأفضل التصميمات الإحصائية للاستعمال في هذا الاختبار تصميم القطاعات العشوائية الكاملة، وتصميم المربع اللاتيني. ويعد العزل ضروريًا حتى لا تصل إلى السلالات حبوب لقاح من أي مصدر آخر، ويفيد صغر مساحة الحقل في جعل جميع السلالات قريبة من بعضها، حتى تتلقح معًا، بينما يساعد التوزيع العشوائي للسلالات والمكررات على إعطاء كل منها فرصة متساوية لكي تلقح بأية سلالة أخرى؛ وبذا .. فإن نسل كل نبات من السلالة يمثل هجينًا مع سلالة أخرى، ويكون متوسط محصول نسل كل نباتات السلالة دالاً على قدرتها العامة على التآلف مع جميع السلالات الأخرى.

ويعاب على هذا الاختبار .. أن التزاوج العشوائي التام بين السلالات ربما لا يحدث، لأسباب تتعلق باختلاف السلالات فيما يلي:

١ - كمية حبوب اللقاح التي تنتجها كل منها.

٢ – موعد انتثار حبوب اللقاح.

٣ – درجة عدم التوافق بينها.

٤ – مستوى التلقيح الذاتى فى كل منها.

٥ – ارتفاع نباتات السلالة، ومدى تعرضها للرقاد.

الخطوة الأولى

تزرع ١٠٠–٣٠٠ سـلالة خضريـة أو سلالة مرباة داخليًا، وتقيم لمدة سـنة أو سنتين وينتخب أفضـل ٢٥–٥٠ سـلالة منها لإجراء التلقيحـات المتعـددة فيمـا بينها.

الخطوة الثانية (تجرى فى معزل)

تزرع الـ ٢٥–٥٠ سلالة المنتخبة فـى ٤–١٠ مكررات توزع عشوائيًا، بـهدف الحصول على تلقيحات تامة العشـوائية فيما بينها. تحصد بذور كل سلالة (مـن مختلف المكررات) معا، وتسـمى بـذور التلقيح المتعدد.

الخطوة الثالثة

3	6	8	2	10	5	7	1	9	4
5	7	9	1	3	4	6	2	8	10

تزرع البذور المتجمعة لكل تلقيح متعـدد فى تجربـة تقييـم لأنسـال التلقيحـات المتعددة، يقارن معها صنف قياسـى أو صنفان، وذلك فى موقع واحد أو أكـثر. وفى هذا المخطط افترضنا أن التلقيحـات المتعددة المتميزة كانت هى أرقام: ٢، ٥، ٦، ٨، ٩.

الخطوة الرابعة (تجرى فى معزل)

9	5	2	6	8
6	8	9	5	2
5	2	6	8	9

تُزرع السلالات المتميزة أرقام ٢، ٥، ٦، ٨، ٩ من الخطوة الثانية فى قطعة حقليـة بمكررات للتلقيح فيما بينـها، وتحصـد البذور الناتجة من كل القطعـة الحقليـة معًا.

الخطوة الخامسة (تجرى فى معزل)

تُكثر البذور الناتجة لتشكل الـ Syn-1

شكل (٨–١): خطوات برنامج التربية لإنتاج الأصناف التركيبية فى محصول معمر، علمًا بأن كـل خطوة قد تستغرق أكثر من عام لإنجازها. وعادة ما يقيم الصنف التركيبى فى مرحلة الـ Syn-2، والـ Syn-3، مقارنة بالأصناف التجارية.

تؤخذ كميات متساوية من البذور من مكررات كل سلالة، وتخلط - معًا - لأجل اختبار نسل التلقيح المتعدد polycross progeny test. ويمكن - في هذه المرحلة - استبعاد أي من السلالات التي يتضح احتواؤها على أية صفة غير مرغوب فيها، خاصة ما يتعلق بالقابلية للإصابة بالأمراض والحشرات الهامة.

ويكون اختبار نسل التلقيح المتعدد في مكررات، وفي أكثر من موقع تجريبي، بغرض تقييم المحصول والصفات الكمية الهامة الأخرى. يُضمَّن الاختبار - عادة - أهم الأصناف التجارية المستعملة في الزراعة للمقارنة؛ وبذلك .. يمكن تعرّف أفضل السلالات - وهي التي تتميز بالقدرة العالية على التوافق - أو يمكن على الأقل استبعاد نصف السلالات التي تكون أقل من غيرها، وهي التي تعاد عليها الدراسة في اختبار تلقيح متعدد جديد (عن Briggs & Knowles ١٩٦٧).

وتجدر الإشارة إلى أن عدد توافيق الآباء (السلالات) - التي يمكن أن يتشكل من كل منها صنف تركيبي - تزيد بدرجة كبيرة مع كل زيادة في عدد السلالات المتوفرة؛ فيكون عدد الأصناف التركيبية الممكنة ١١ عند توفر ٤ سلالات للاختبار منها، و ٥٧ عند توفر ٦ سلالات، و ٢٤٧ عند توفر ٨ سلالات، و ١٠١٣ عند توفر ١٠ سلالات. والمعادلة العامة لذلك هي:

عدد الأصناف التركيبية الممكنة = ٢^ن - (ن+١).

حيث تمثل (ن) عدد السلالات المتوفرة.

إنتاج بذور الجيل التركيبي الأول Syn-1

توجد طريقتان لإنتاج بذور الجيل التركيبي الأول، هما:

١ - إجراء كل التلقيحات الممكنة بين جميع السلالات المكونة للصنف التركيبي يدويًا، ثم خلط كميات متساوية من بذور كل تلقيح معًا.

٢ - اتباع طريقة التلقيح المتعدد polycross method التي سبق بيانها. وتقتصر الزراعة - في هذه الحالة - على السلالات التي يقع عليها الاختيار؛ ليتكون منها الصنف التركيبي، ثم تحصد بذور كل قطعة تجريبية على حدة، ويلي ذلك .. خلط كميات متساوية من بذور كل وحدة تجريبية معًا. ويعني ذلك خلط كميات متساوية من

بذور تلقيحات كل سلالة مع جميع السلالات الأخرى، وهى التى تكون الجيل التركيبى الأول. ويعيب الطريقة .. احتمال عدم عشوائية التلقيح الخلطى بين السلالات، للأسباب التى سبق بيانها.

التنبؤ بمحصول الصنف التركيبى فى الأجيال التى تستعمل فى الزراعة

أعطى Wright فى عام ١٩٢٢ المعادلة التالية، للتنبؤ بمحصول الصنف التركيبى فى الجيل التركيبى الثانى Syn-2 (عن Allard ١٩٦٤):

$$\bar{F}_2 = \bar{F}_1 - \frac{(\bar{F}_1 - \bar{P})}{n}$$

حيث تمثل:

$\bar{F}_2$: المحصول المتوقع فى الجيل التركيبى الثانى Syn-2.

$\bar{F}_1$: متوسط محصول الهجن الفردية التى تشكل – معًا – الجيل التركيبى الأول Syn-1.

$\bar{P}$: متوسط محصول سلالات الآباء التى تكوّن مكونات الأساس للصنف أو Syn-0.

n: عدد سلالات الآباء.

تعنى هذه المعادلة أن محصول الصنف التركيبى يقل فى الجيل التركيبى الثانى بمقدار $^1/_n$ من قوة الهجين، وهى الفرق بين متوسط محصول الجيل التركيبى الأول Syn-1 ومتوسط محصول الآباء.

ومن المتوقع – نظريًّا – ألا يختلف محصول الجيل التركيبى الثالث Syn-3، أو الرابع Syn-4 (وكذلك الأجيال التالية لذلك) عن محصول الجيل التركيبى الثانى؛ لأن العشيرة تصل إلى حالة من التوازن الوراثى بعد جيل واحد من التلقيح الخلطى العشوائى، حسب قانون هاردى-فينبرج، وهو التوزان الذى تصل إليه العشيرة فى الجيل التركيبى الثانى. ويختل هذا التوازن إن لم تتحقق شروط معينة للقانون.

هذا .. ولا يكفى التنبؤ بمحصول الصنف المخلق من المعادلة، بل يلزم إجراء التقييم لهذا الجيل عند إنتاج الصنف لأول مرة.

ولا يمكن استخدام المعادلة السابقة فى التنبؤ بمحصول الصنف التركيبى فى الحالات التالية:

١ – عند استخدام السلالات الخضرية فى إنتاج الصنف؛ كما فى البرسيم الحجازى، الذى لا يتحمل التربية الداخلية.

٢ – عندما لا تكون السلالات المستخدمة – كآباء – على درجة عالية من التربية الداخلية. وتستعمل هذه السلالات – أحيانًا – كبديل للسلالات الأصيلة، التى يكون محصولها منخفضًا؛ وذلك لتجنب ارتفاع سعر التقاوى.

وترجع أهمية هذه المعادلة إلى أن عدد الهجن الفردية التى تدخل فى تكوين الأصناف التركيبية – التى يمكن إنتاجها – يزيد زيادة كبيرة مع كل زيادة فى عدد السلالات المتوفرة، كما سبق أن أسلفنا. وتفيد المعادلة فى التنبؤ بمحصول الصنف التركيبى قبل إنتاجه من واقع البيانات المتوفرة عن محصول سلالات الآباء والهجن الفردية الممكنة بينها؛ وبذا .. يمكن اختيار السلالات التى يستدل – من تطبيق المعادلة عليها – أنها تعطى أفضل الأصناف التركيبية الممكنة محصولاً.

كما توصل Bubice & Gurgis فى عام ١٩٧٦ (عن Fehr ١٩٨٧) إلى معادلات مماثلة للتنبؤ بمحصول الأصناف التركيبية فى حالة النباتات المتضاعفة ذاتيًا Autotetraploids.

ويبين شكل (٨–٢) التغير المتوقع فى قوة الهجين فى النباتات المتضاعفة خلال الأجيال التركيبية من الثانى Syn-2 إلى الثامن Syn-8 مقارنة بالجيل التركيبى الأول Syn-1 لدى تطبيق هذه المعادلات.

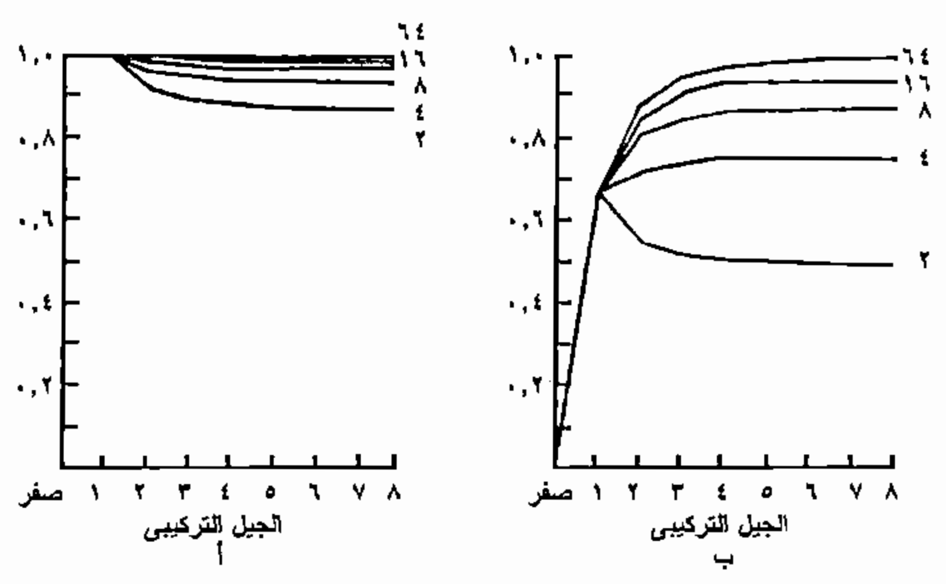
وقد يتراوح عدد الآباء فى الصنف التركيبى من ٢ إلى أكثر من ١٠٠. ويقل النقص فى قوة الهجين (عن الجيل التركيبى الأول Syn-1) مع زيادة عدد الآباء، التى لا تربطها صلة قرابة، والتى تدخل فى تكوين الصنف التركيبى. إلا أن زيادة عدد الآباء – التى لا تربطها قرابة – على ١٦ .. لا يسهم كثيرًا فى خفض النقص فى قوة الهجين (شكل ٨–٢). أما إذا كانت الآباء ترتبط ببعضها بصلة قرابة، أو كانت قرابتها من بعضها غير معلومة .. فإنه يوصى – حينئذ – بزيادة عدد سلالات الآباء على ١٦ سلالة.

العوامل المؤثرة فى محصول الصنف التركيبى

يتأثر محصول الصنف التركيبى فى الجيل التركيبى الثانى Syn-2، والأجيال التالية – وهى التى تستعمل تجاريًا – بالعوامل التالية :

١ – عدد سلالات الآباء:

فكلما زاد عدد السلالات .. قل مقدار الفقد فى قوة الهجين فى الجيل التركيبى الثانى؛ حسب معادلة Wright، وعليه .. فإنه تفضل السلالات الكثيرة، إلا أن ذلك يتداخل مع العامل الثانى.



شكل (٨–٢): التغير المتوقع فى قوة الهجين خلال ثمانية أجيال من الإكثار المفتوح التلقيح لأصناف تركيبية نشأت من: (أ) آباء متضاعفة ذاتيًا غير مرباة داخليًا ولا تربطها صلة قرابة، (ب) آباء متضاعفة ذاتيًا أصيلة، ولا تربطها صلة قرابة. هذا .. مع افتراض حدوث التلقيح العشوائى التام، وانعدام التلقيح الذاتى. تدل الأرقام المبينة على يمين كل شكل على عدد الآباء التى تدخل فى تكوين الصنف (عن Fehr ١٩٨٧).

٢ – متوسط محصول الهجن الفردية :

فكلما زاد محصول الهجن الفردية .. قل مقدار المفقود فى قوة الهجين فى الجيل التركيبى الثانى، حسب المعادلة أيضًا .. إلا أن محصول الهجن الفردية يتوقف على درجة التآلف بين جميع سلالات الآباء. يصعب – عادة – إيجاد عدد كبير من

السلالات المتوافقة معًا بدرجة عالية؛ لذا .. فإنه يفضل – غالبًا – الاكتفاء بعدد أقل من السلالات التى توجد بينها درجة عالية من التوافق.

٣ – متوسط محصول سلالات الآباء:

فكلما زاد متوسط محصول سلالات الآباء .. قل مقدار الفقد فى قوة الهجين فى الجيل التركيبى الثانى. ويتعارض هذا العامل – كذلك – مع العامل الأول الخاص بعدد السلالات؛ لصعوبة إيجاد عدد كبير من السلالات العالية المحصول.

وينخفض محصول الـ Syn-2 عن محصول الـ Syn-1 لسببين رئيسيين، هما:

١ – إنتاج تراكيب وراثية جديدة.

٢ – حدوث فقد فى حالة الخلط الوراثى heterozygosity.

ويحدث كلا الأمرين نتيجة للتزاوج الخلطى العشوائى بين نباتات الـ Syn-1.

ونظرًا لأهمية الفقد الذى يحدث فى حالة الخلط الوراثى .. فإننا نتناوله بالشرح – فيما يلى – بشئ من التفصيل.

يؤدى التزاوج الخلطى العشوائى بين أفراد الـ Syn-1 إلى حدوث فقد ملموس فى درجة الخلط الوراثى فى الـ Syn-2، مقارنة بالوضع فى الـ Syn-1، ويتوقف مقدار ذلك الفقد على كل من عدد السلالات المرباة داخليًا التى استعملت فى إنتاج الـ Syn-1، ونسب السلالات التى تختلف فى آليلاتها عند أى موقع جينى. فمثلاً .. إذا تكون الصنف التركيبى من ست سلالات، فإن تلك السلالات قد تشكل – معًا – أىّ من سبع توافقات للتراكيب الوراثية عند أى موقع جينى (جدول ٨–١). ومن الواضح أن حالتى التوافق الأولى والسابعة فى الجدول يترتب عليها أصالة وراثية فى هذا الموقع الجينى فى الـ Syn-1 والأجيال التالية له. وبالمقارنة، فإن حالتى التوافق الثانية والسادسة سوف ينتج Syn-1 يحتوى على ٣٣,٣ إلى ٦٠٪ خلط وراثى فى هذا الموقع الجينى (جدول ٨–٢). هذا إلاّ أن الـ Syn-2 (الذى ينتج من التلقيح الخلطى العشوائى بين نباتات الـ Syn-1) الذى ينتج من تلك التوافقات السبع سوف يحتوى على ٢٧,٨ إلى ٥٠٪ خلط وراثى؛ بما يعنى نقص فى الخلط الوراثى يقدر بنحو ٥,٥–١٠٪ فى الـ Syn-2، مقارنة بالوضع فى الـ Syn-1.

وبالمقارنة .. فإن مدى هذا النقص يتراوح من ٨-١٢٪، و ٤,١-٨,٢٪، و ٣.١-٧.١٪ فى الأصناف التركيبية التى يدخل فى تكوينها خمس، وسبع، وثمانى سلالات، على التوالى.

وعندما يتركب الصنف التركيبى من سلالات ليست على درجة تامة من الأصالة الوراثية short-term inbreds، فإن نباتات الـ Syn-1 والـ Syn-2 تكون على درجة أعلى من الخلط الوراثى، كما يقل مقدار الفقد فى الخلط الوراثى فى الـ Syn-2 – بالنسبة للوضع فى الـ Syn-I – مقارنة بما يحدث فى الأصناف التركيبية التى تتكون من سلالات تامة الأصالة الوراثية (عن Singh ١٩٩٣).

جدول (٨-١): التوافقات المختلفة الممكنة للتراكيب الوراثية ف موقع جينى واحد ف ست سلالات تدخل ف تكوين صنف تركيبى.

التوافقات	السلالات المرباة داخليا					
	١	٢	٣	٤	٥	٦
I	AA	AA	AA	AA	AA	AA
II	AA	AA	AA	AA	AA	aa
III	AA	AA	AA	AA	aa	aa
IV	AA	AA	AA	aa	aa	aa
V	AA	AA	aa	aa	aa	aa
VI	AA	aa	aa	aa	aa	aa
VII	aa	aa	aa	aa	aa	aa

جدول (٨-٢): النسبة المئوية للخلط الوراثى heterozygosity ف كل من الـ Syn-1، والـ Syn-2 لصنف تركيبى تكون من السلالات الست المبينة ف جدول (٨-١).

الجيل	توافقات السلالات المرباة داخليا المكونة للصنف						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Syn-1	صفر	٣٣,٣	٥٣,٣	٦٠	٥٣,٣	٣٣,٣	صفر
Syn-2	صفر	٢٧,٨	٤٤,٤	٥٠	٤٤,٤	٢٧,٨	صفر
التدهور فى الخلط الوراثى فى الـ Syn-2	صفر	٥,٥	٨,٩	١٠	٨,٩	٥,٥	صفر

ومن المعروف أن يمكن التنبؤ بالقدرة العام على التآلف فى النباتات التى لم تخضع بعد للتربية الداخلية (نباتات جيل الـ S_0)، كما سبق أن أوضحنا تحت موضوع القدرة على التآلف؛ وعليه .. فإن زيادة القدرة على التآلف أمر ممكن. وربما يكون من الأفضل استعمال السلالات التى تكون على درجة أقل من التربية الداخلية – مادام فى الإمكان اختبار قدرتها على التآلف – علمًا بأن هذه السلالات تكون أعلى محصولاً من السلالات التى أخضعت للتربية الداخلية لعدة أجيال.

وقد اقترح Jenkins إنتاج الأصناف التركيبية بهذه الطريقة، كما يلى:

١ – عزل سلالات من نسل النباتات الملقحة ذاتيًّا لجيل واحد S_1.

٢ – اختبار القدرة العامة على التآلف لهذه السلالات بالاختبار القمى top cross بالنسبة للصفات الهامة، خاصة المحصول.

٣ – تهجين السلالات التى تتميز بقدرتها العالية على التوافق معًا، لإنتاج الجيل التركيبى الأول، ثم تستمر خطوات إنتاج الصنف التركيبى بعد ذلك بالطريقة العادية.

٤ – تكرر الخطوات السابقة، بعد كل جيلين من التلقيح الخلطى المفتوح للصنف التركيبى.

ولاشك فى أن من أهم عيوب هذه الطريقة عدم إمكان إعادة إنتاج الصنف التركيبى كما كان؛ لأن السلالات التى تستعمل فى تكوينه ليست صادقة التربية.

وقد يستغنى عن التربية الداخلية كلية، كما هى الحال فى الأنواع التى تتكاثر خضريًّا، وهى التى تستعمل فيها السلالات الخضرية كآباء. ورغم أن هذه الآباء تكون عالية المحصول – وينعكس ذلك إيجابيًّا على محصول الصنف المخلق – إلا أنها تكون خليطة وراثيًّا، وهو ما يعنى توقع بعض التغيرات الطفيفة فى صفات الصنف التركيبى، كلما أعيد إنتاجه.

إعادة تكوين الأصناف التركيبية

نادرًا ما يستعمل الصنف التركيبى بعد الجيل التركيبى الرابع Syn-4؛ بسبب احتمال تغير الهيكل الوراثى للصنف؛ نتيجة لتعرضه لعوامل الانتخاب الطبيعى. ويعنى

ذلك ضرورة إكثار السلالات التى تدخل فى تكوين الصنف، والمحافظة عليها؛ ليمكن إعادة إنتاجه فى أى وقت. ولا يمر الصنف – عند إعادة إنتاجه – بمراحل التقييم المختلفة التى يمر بها عند إنتاجه لأول مرة؛ حيث يمكن – عند إعادة الإنتاج – استعمال الجيل التركيبى الثانى فى الزراعة التجارية .. إلا أن المربى قد يرى إضافة – أو استبعاد – بعض السلالات عند إعادة تكوين الصنف، ويلزم – فى هذه الحالة – إعادة التقييم من جديد.

ويمكن إحداث تقدم سريع فى الأصناف التركيبية؛ بإخضاعها لدورة أو دورتين من الانتخاب المتكرر، بعد إكثارها لعدة سنوات. كما يمكن استخدام الصنف التركيبى فى بدء دورة من التربية الداخلية والانتخاب؛ لإنتاج سلالات لصنف تركيبى جديد.

مزايا الأصناف التركيبية

تتوفر فى الأصناف التركيبية المزايا التالية:

١ – تتحمل الأصناف التركيبية التقلبات الجوية بدرجة أكبر من درجة تحمل الهجن الزوجية؛ بسبب كثرة الاختلافات الوراثية فيها عما فى الأصناف الهجين. فبينما تتلقى الهجن الزوجية العوامل الوراثية من سلالات الآباء الأربعة فقط .. نجد أن فرصة التلقيح الخلطى المفتوح تتيح لنباتات الجيلين التركيبيين الثالث والرابع تلقى عوامل وراثية من أكبر عدد ممكن من سلالات الآباء الداخلة فى تكوين الصنف التركيبى.

٢ – تقل تكاليف إنتاج بذور الصنف التركيبى عن الهجن الزوجية لكونها تستعمل لعدة أجيال، وعليه .. فإنه يفضل استعمالها فى المناطق التى لم تقم فيها برامج لإنتاج الذرة الهجين.

٣ – تفضل الأصناف التركيبية فى المحاصيل ذات الأجزاء الزهرية الصغيرة التى يصعب إجراء التهجين فيها، كما فى بعض محاصيل العلف. أما فى الذرة .. فقد فاق استخدامُ الهجن الأصناف التركيبية، إلا أن الأخيرة يمكن الاستفادة بها كمستودع للجينات المرغوب فيها.

مقارنة بين الأصناف الهجين، وأصناف الهجن المتعددة السلالات، والأصناف التركيبية

يبين جدول (٨-٣) مقارنة بين الأصناف الهجين Hybrid Varieties وأصناف الهجن المتعددة السلالات Composites، والأصناف التركيبية Synthetic Varieties (عن Chaudhari ١٩٧١).

جدول (٨-٣): مقارنة بين الأصناف الهجين، وأصناف الهجن المتعددة السلالات Composites والأصناف التركيبية.

وجه المقارنة	الأصناف الهجين	الهجن المتعددة السلالات	الأصناف التركيبية
عدد سلالات الآباء	٢-٤	٦ أو أكثر	٤-١٠
التلقيح بين السلالات	متحكم فيه	متحكم فيه	عشوائى
الخلفية الوراثية	ضيقة	عريضة	عريضة
قوة الهجين	عالية	عالية	أقل
تكلفة الإنتاج	عالية	أكثر تكلفة	أقل تكلفة منهما
استعمال البذور	تنتج سنويًا	تكثر بالتلقيح المفتوح لعدة سنوات	تكثر بالتلقيح المفتوح لعدة سنوات
جهود المحافظة على الصنف	كبيرة	أكبر	أقل
الانتشار	منتشرة	غير منتشرة	غير منتشرة

الفصل التاسع

الطفرات: أنواعها وأهميتها

تعرف الطفرة بأنها أى تغير فجائى فى التركيب الوراثى للفرد، يترتب عليه تغير مُناظر فى شكله الظاهرى.

ويوجد نوعان رئيسيان من الطفرات، هما:

١ – الطفرات العاملية Intragenic Mutations، أو Gene Mutations:

وهى الطفرات التى تتضمن تغيرات فى التركيب الجزيئى للجين، يترتب عليها تغيرات فى نشاطه. ويستدل على هذه النوعية من الطفرات من الأثر الذى تحدثه فى الشكل المظهرى للأفراد الحاملة لها.

٢ – الطفرات غير العاملية Extragenic Mutations:

وهى الطفرات التى تتضمن تغيرات كروموسومية عددية أو تركيبية؛ مثل حالات التضاعف، والنقص والإضافة، والانقلابات، وانتقالات الكروموسومية ... إلخ. ويمكن الاستدلال على هذه النوعية من الطفرات بالدراسات السيتولوجية، ومن الأثر الذى تحدثه فى الشكل المظهرى للأفراد الحاملة لها.

كذلك تقسم الطفرات من حيث كيفية نشأتها إلى نوعين، هما:

١ – طفرات طبيعية Natural Mutations:

تحدث الطفرات تلقائيًا فى الطبيعة، وتختلف معدلات حدوثها باختلاف الأنواع النباتية، وباختلاف الصفات فى النوع الواحد، وتعد هى الأصل فى جميع الاختلافات الوراثية المشاهدة، ويرجع إليها الفضل الأكبر فى تطور محاصلينا الزراعية، وتحسينها.

٢ – طفرات مستحدثة Induced Mutations:

حاول الإنسان – كذلك – استحداث الطفرات بواسطة العوامل المطفرة Mutagenic Agents؛ بهدف استحداث تغيرات وراثية، يمكن الاستفادة منها فى برامج التربية، وذلك هو موضوع الفصل العاشر.

أنواع الطفرات غير العاملية

يطلق على الطفرات غير العاملية – سواء أكانت طبيعية أم مستحدثة – أسماء مختلفة منها الاختلافات الكروموسومية العددية، والتركيبية (وهى التحورات الكروموسومية Chromosomal Aberrations)، ويتطلب النوع الثانى حدوث كسر فى موضع واحد أو موضعين فى كروموسوم واحد أو فى كروموسومين. تبدو أطراف الكروموسومات التى كسرت – حديثًا – كأنها لزجة؛ لأن هذه الأطراف تميل إلى الالتحام ثانيًا مع بعضها، لكن الالتحام قد يحدث مع أى طرف كروموسومى آخر مكسور. وينشأ من ذلك عدد من الاختلافات الكروموسومية، هى:

النقص أو الاقتضاب

تظهر حالات النقص أو الاقتضاب Deficiency إذا فقدت قطعة من الكروموسوم. فإذا فصلت قطعة كروموسومية عن جزء الكروموسوم الحامل للسنترومير .. فإن هذه القطعة اللاسنتروميرية (أى التى لا تحمل السنترومير) تصبح غير قادرة على التوجه نحو أى من قطبى الخلية، وتبقى سابحة فى السيتوبلازم، إلى أن تفقد بعد تكوين الغشاء النووى.

وقد يحدث كسر واحد عند أحد طرفى الكروموسوم؛ وبذا .. يكون النقص طرفيًّا terminal، أو قد يحدث كسر، وتفقد القطعة الوسطية، ويلتحم الطرفان المكسوران؛ وبذا .. يكون النقص وسطيًّا intercalary، ويعرف بالاقتضاب، وتكون غالبية أنواع النقص الكروموسومى من النوع الوسطى. وتتكون حالات النقص الكروموسومى فى أثناء الانقسام الاختزالى للنباتات الخليطة فى الانتقالات، أو الانقلابات الكروموسومية. كما تظهر طبيعيًّا، أو بعد المعاملة بالعوامل المطفرة. ويبين شكل (٩-١أ) السلوك السيتولوجى للكروموسومات فى حالة النقص الكروموسومى.

ونجد فى حالات النقص الكروموسومى أن الجينات التى كانت تحمل على القطعة الكروموسومية المفقودة قد فقدت تبعًا لذلك، وقد يحدث ذلك تأثيرًا ضارًا، ولكن الأمر يتوقف على الأهمية الفسيولوجية للجينات التى فقدت. وربما يموت الفرد، وتزداد احتمالات ذلك فى الأفراد الأصيلة فى الاقتضاب عما فى الأفراد الخليطة. وتنطبق المبادئ نفسها على الجاميطات الحاملة للاقتضاب، إلا أن الجاميطات المؤنثة تكون أكثر

قدرة على البقاء من الجاميطات المذكرة. وتعطى الاقتضابات غير الميتة مظاهر غير عادية، وتظهر الصفات التى تتحكم فيها الآليلات المتنحية نتيجة لغياب الآليل السائد (hemizygosity)، وتعرف هذه الحالة بالسيادة الكاذبة Pseudodominance.

ويستفاد من حالات النقص الكروموسومى فى رسم الخريطة الكروموسومية، على اعتبار أن غياب آليل سائد من مقطع كروموسومى يسمح للآليل المتنحى الذى قد يوجد فى الكروموسوم المماثل بإظهار تأثيره، وتكون نسب الانعزالات فى هذه الصفة مختلفة فى الأفراد الخليطة فى حالات النقص الكروموسومى، عما فى الأفراد العادية.

الإضافة

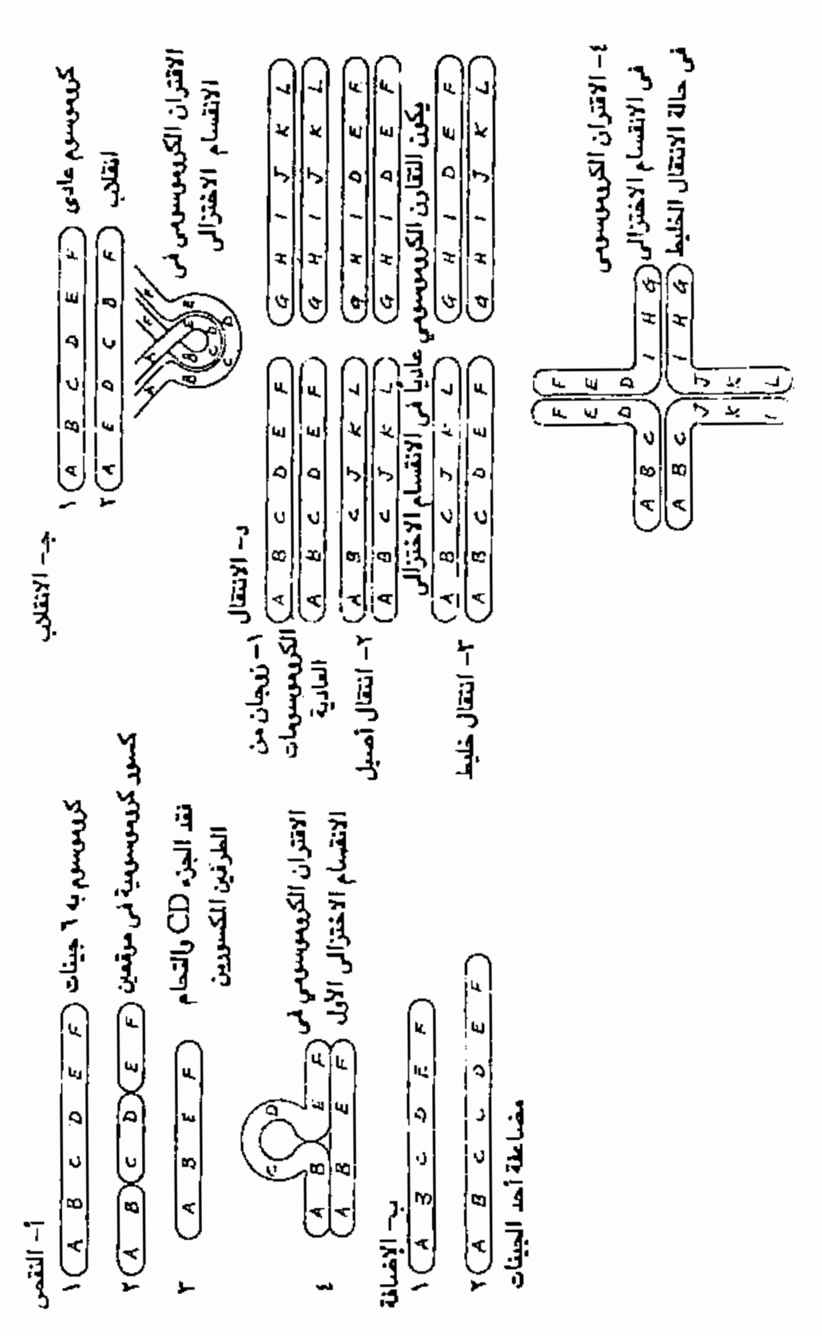
تتكون حالات الإضافة Duplication عندما يحتوى الكروموسوم على مقطع مكرر أكثر من مرة، وهى تظهر فى أثناء الانقسام الاختزالى للنباتات الخليطة فى الانتقالات أو الانقلابات الكروموسومية. وتستعمل الإضافة فى دراسة العلاقة الكمية لتأثير جين معين. وسواء أكانت الإضافة أصيلة، أم خليطة .. فلا يكون لها – عادة – أى تأثير ضار على الفرد. ولكن الإضافة تغير – فى كثير من الأحيان – من الشكل الظاهرى لبعض الصفات، وهو ما يعرف بالتأثير الموضعى Possition Effect، كما تغير الإضافة من النسب المندلية العادية، وتكون حبوب اللقاح المحتوية على الإضافة – عادة – أقل حيوية من حبوب اللقاح الطبيعية، ولكن لم يلاحظ أى تأثير ضار للإضافة فى حيوية البويضات.

الانتقالات الكروموسومية

يوجد نوعان من الانتقالات الكروموسومية Translocations، هما:

١ – الانتقال البسيط:

تنشأ حالات الانتقال البسيط simple translocation عندما تكسر قطعة كروموسومية، وتنتقل إلى كروموسوم آخر غير مماثل له، لكن يلزم – فى هذه الحالة – حدوث كسر فى طرف الكروموسوم الذى انتقلت إليه القطعة الكروموسومية؛ لأن أطراف الكروموسومات المكسورة لا تتصل إلاّ بأطراف كروموسومية مكسورة أيضًا. ولا يعد هذا النوع من الانتقالات الكروموسومية شائعًا.



شكل (٩-١): كيفية حدوث التحورات الكروموسومية (النقص، والإضافة، والانقلاب، والانتقالات) ومظهر الكروموسومات فى الدور التزواجى من الدور التمهيدى للانقسام الاختزالى.

٢ – الانتقال المتبادل:

تنشأ حالات الانتقال المتبادل reciprocal translocation حينما تتبادل أجزاء متساوية أو غير متساوية بين كروموسومين غير متماثلين. وقد يكون الانتقال خليطًا أو أصيلاً. ويؤدى الانتقال المتبادل إلى تغير الارتباط، لأن القطعة المتبادلة تصبح – بما تحمله من جينات – مرتبطة بمجموعة جديدة من الجينات، كما أن الأفراد الخليطة للانتقال فى كروموسومين، تكون نصف عقيمة؛ بسبب حالات النقص والإضافة الكروموسومية التى تظهر فى الجاميطات. وتزيد نسبة العقم على ٥٠٪ إذا شمل الانتقال أكثر من كروموسومين.

يبين شكل (٩–٢) طريقة تزاوج الكروموسومات فى حالة الانتقال المتبادل، وأنواع الجاميطات التى تتكون بعد انعزال الكروموسومات؛ فالكروموسومات تتزاوج على شكل صليب لكى تقترب الأجزاء المتناظرة من بعضها، ثم تنعزل الكروموسومات – بعد ذلك – بواحدة من طرق ثلاث، هى الانعزال المتقابل، أو الانعزال المتجاور، مع وجود طريقتين للانعزال المتجاور، كما هو مبين فى الشكل. وتنتج نصف الجاميطات من حالات الانعزال المتقابل، وتكون خصبة، بينما ينتج النصف الآخر من الجاميطات من حالتى الانعزال المتجاور، وتكون عقيمة لما تحتويه من حالات إضافة أو نقص كروموسومى. ويكون عقم هذه الجاميطات تامًّا بالنسبة لحبوب اللقاح، بينما قد تكون بعض البويضات خصبة، ويمكن تلقيحها بحبوب لقاح من تلك التى تنتج من الانعزال المتبادل، وهو ما يسمح بإنتاج نباتات بها نقص أو إضافة فى كل جيل.

ويستفاد من حالات الانتقالات الكروموسومية فيما يلى:

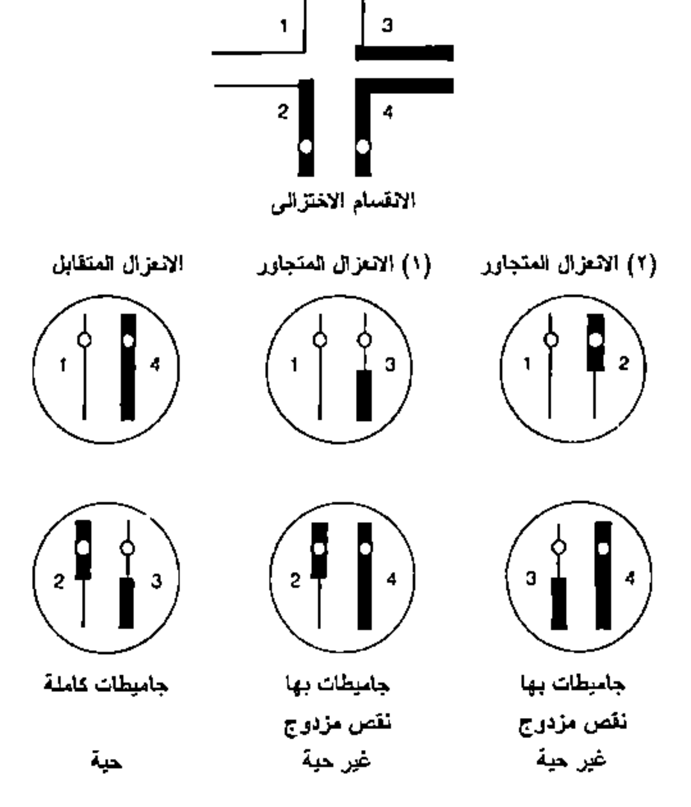
أ – الدراسات الوراثية:

يستفاد من حالات الانتقالات الكروموسومية فى دراسة وضع السنتروميرات وغيرها من المناطق الكروموسومية المميزة سيتولوجيًّا بالنسبة للجينات، ومعرفة المجموعة الارتباطية التى تنتمى إليها الجينات، والمجموعة الارتباطية التى يحملها الكروموسوم، واستقلالية المجموعات الارتباطية.

ب – إنتاج السلالات الأصيلة:

أقترح استعمال الانتقالات الكروموسومية المتعددة فى إنتاج السلالات الأصيلة.

ويلزم لذلك توفر سلالة تحتوى على عدة انتقالات كروموسومية؛ بحيث تعطى حلقة من جميع الكروموسومات عندما تلقح مع نبات عادى. ويمكن إنتاج مثل هذه السلالات بتلقيح آباء تحتوى على انتقالات كروموسومية مختلفة. وإذا لقحت سلالة كهذه مع سلالة خليطة heterozygous .. فإن الجاميطات الخصبة الوحيدة التى تنتجها نباتات الجيل الأول تكون هى التى تحتوى على جميع الكروموسومات العادية (+)، أو التى تحتوى على جميع الكروموسومات غير العادية (−)، أى الانتقالية؛ وعليه .. فإن التلقيح الذاتى لنباتات الجيل الأول يعنى إنتاج نسل تكون كروموسوماته إما (++)، أو (+−)، أو (−−) بنسبة ١:٢:١. وتكون الأفراد الطبيعية (++) أصيلة وراثيًّا بالنسبة لجيمع الجينات؛ وبذا .. يمكن إنتاج سلالات أصيلة فى جيل واحد.



شكل (٩–٢): كيفية اقتران الكروموسومات وانعزالها فى الانقسام الاختزالى الأول فى حالة الانتقال الكروموسومى المتبادل. يراجع المتن للتفاصيل.

جـ - إنتاج البذرة الهجين:

اقترح استخدام الانتقالات الخليطة في إنتاج الهجن، علمًا بأن الانتقال الكروموسومى - فى هذه الحالة - يكون فى كروموسوم زائد، يتكون من نصفى كروموسومين غير متماثلين، أى يكون النبات ثلاثى الكرموسوم من الدرجة الثالثة tertiary trisomic.

الانقلاب

يحدث الانقلاب الكروموسومى Inversion حينما ينعكس وضع مقطع كروموسومى ١٨٠ درجة على نفس الكروموسوم، وهو على نوعين كما يلى:

١ - انقلاب سنتروميرى pericentric inversion:

وهو الذى تشتمل فيه القطعة المنقلبة على منقطة السنترومير.

٢ - انقلاب لاسنتروميرى paracentric inversion:

وهو الذى لا تشتمل فيه القطعة المقلبة على منطقة السنترومير.

قد يكون الفرد أصيلاً أو خليطًا للانقلاب، وقد يحدث انقلاب مركب؛ فتنقلب قطعة داخل الانقلاب الأول.

يؤدى الانقلاب الخليط - عادة - إلى إحداث عقم بنسبة ٥٠٪ فى كل من الجاميطات المذكرة والمؤنثة؛ ويرجع ذلك إلى تكوين كروماتيدات تحتوى على إضافة أو نقص. كما يؤدى الانقلاب إلى تغيير العلاقة الارتباطية بين الجينات الموجودة على نفس الكروموسوم. كذلك .. يحدث الانقلاب نقصًا كبيرًا فى نسبة العبور المقدرة عن طريق التراكيب العبورية؛ ويرجع ذلك إلى قلة الحصول على هذه التراكيب فى الجاميطات المتحصل عليها؛ إذا إن الكروماتيدات المتحصل عليها تكون دائمًا غير عبورية؛ أى يؤدى الانقلاب إلى نقص كبير فى العبور الوراثى، دون أن يكون له بالضرورة، أى تأثير فى العبور السيتولوجى. ويتبين من ذلك أهم تأثير للانقلاب الخليط، ألا وهو تقليل التراكيب العبورية أو منعها كلية. كما يحدث الانقلاب الخليط درجة من التعارض interferance؛ نظرًا لأنه يؤدى إلى تقليل العبور خارج المنطقة التى. حدث فيها الانقلاب، ويستفاد من حالات الانقلاب الكروموسومى فى دراسة سلوك

الكروموسومات، وموقع الجينات على الكروموسومات بالنسبة لكل من الصفات النوعية والكمية (عن طنطاوى وحامد ١٩٦٣، و Fehr ١٩٨٧). ولمزيد من التفاصيل .. يراجع Elliott (١٩٥٨)، و Swanson وآخرون (١٩٦٧).

ويبين شكل (٩-١) كيفية حدوث التحورات الكروموسومية السابقة، ومظهر الكروموسومات في الدور التزاوجي من الدور التمهيدى الأول للانقسام الاختزالى (عن Birkett ١٩٧٩).

الطفرات الطبيعية

يتراوح معدل حدوث الطفرات الطبيعية Naturally Occurring Mutations فى النباتات بين ٠,٠٠١٪ و ٠,٠٠٠١٪ من الجاميطات، ويتوقف ذلك على النوع المحصولى والصفة ذاتها، وتوجد حالات يكون معدل حدوث الطفرات فيها أقل، أو أكثر من ذلك، ويبين جدول (٩-١) معدلات حدوث الطفرات الطبيعية في بعض الجينات التى تتحكم في صفات الحبة في الذرة. ويتبين من الجدول أن نسبة الطفرات المشاهدة تتراوح من أقل من واحد إلى ٤٩٢ طفرة في كل مليون جاميطة.

جدول (٩-١) معدل حدوث الطفرات الطبيعية فى بعض الجينات التى تتحكم فى صفات الحبة فى الذرة.

الجين وتأثيره المظهرى	عدد الجاميطات المختبرة	عدد الطفرات المشاهدة	نسبة الطفرات لكل مليون جاميطة
R عامل يتحكم فى لون الحبة	٥٥٤٧٨٦	٢٧٣	٤٩٢
I عامل يمنع تكوين اللون	٢٦٥٣٩١	٢٨	١٠٦
P_2 لون الحبة القرمزى	٦٤٧١٠٢	٧	١١
Su الإندوسبرم السكرى	١٦٧٨٧٣٦	٤	٢,٤
Y اللون الأصفر	١٧٤٥٢٨٠	٤	٢,٢٠
Sh الإندوسبرم المنكمش	٢٤٦٩٢٨٥	٣	١,٢
Wx الإندوسبرم الشمعى	١٥٠٣٧٤٤	صفر	صفر

وقد تنشأ الطفرات فى الأنسجة الجسمية Somatic Tissues، ويطلق عليها اسم طفرات برعمية Bud Sports أو Sport Mutations. وهى قد تكون شاملة لكل أنسجة الفرخ النامى من البرعم، أو توجد فى بعض أنسجته فقط، بينما تبقى بقية الأنسجة على حالتها الأصلية، وتعرف الطفرة فى هذه الحالة باسم كيميرا Chimera.

الطفرات البرعمية والكيميرا

قد تشمل الطفرة البرعمية كل نسيج الفرخ النامى إذا حدثت فى مرحلة مبكرة من نمو البرعم، ويؤدى ذلك إلى احتواء كل خلايا البرعم أو معظمها على هذه الطفرة؛ فتظهر – بالتالى – فى جميع خلايا الفرخ الذى ينمو منه. ورغم انخفاض نسبة حدوث هذه النوعية من الطفرات .. إلاَّ أنه يمكن الاستفادة منها بسهولة؛ فالثمار التى تنتج على الفرخ المطفر تحتوى بذورها على العامل أو العوامل الوراثية المسئولة عن الطفرة، وهو ما يعنى إمكان إكثارها جنسيًّا. كما يمكن باتباع طريقة التكاثر الخضرى المناسبة إنتاج سلالة خضرية جديدة من الفرخ المطفر، يمكن أن تصبح صنفًا جديدًا إذا كانت الطفرة جيدة ومرغوبة.

أما الكيميرا فإنها تظهر عندما تحدث الطفرة الجسمية فى مرحلة متأخرة من تكوين البرعم؛ مما يؤدى إلى ظهورها فى بعض خلاياه فقط، ويؤدى نمو هذا البرعم إلى تكوين فرخ يحتوى على الطفرة فى بعض أنسجته، بينما تكون الأنسجة الأخرى على حالتها الأصلية. وكلما تأخر وقت حدوث الطفرة أثناء تكوين البرعم .. قلت نسبة النسيج الذى يحتوى على الطفرة فى الفرع المتكون من هذا البرعم. كما قد تظهر الكيميرا فى عضو نباتى واحد، مثل الورقة أو الثمرة؛ فتبدو الورقة مبرقشة، أو تحتوى الثمرة على جزء مطفر وجزء عادى؛ كأن تحتوى ثمرة التفاح – مثلاً – على جزء حامضى وجزء حلو، أو تحتوى ثمرة الخوخ على جزء زغبى وجزء أملس.

ولا يشترط لظهور الكيميرا أن تحدث الطفرة فى البرعم الإبطى الذى يعطى – عند نموه – فرخًا يحتوى على الطفرة فى بعض أنسجته، بل إن الطفرة قد تحدث – كذلك – فى القمم النامية (البراعم القمية) للسيقان؛ مما يؤدى إلى ظهور الكيميرا فجأة فى الساق بعد فترة من النمو الطبيعى.

ولا تكون معظم أنواع الكيميرا ثابتة عند إكثارها.

هذا .. وتظهر حالات الطفرات التى سبق ذكرها - تلقائيًا - فى الطبيعة، كما يمكن إحداثها صناعيًا، بمعاملة الأجزاء الخضرية للنباتات بالعوامل المطفرة.

كيفية ظهور الكيميرا

تحتوى قمم أفرخ النباتات ذوات الفلقتين من مغطاة البذور على ثلاث طبقات (توجد طبقتان فقط فى معراة البذور وذوات الفلقة الواحدة) تعرف معًا باسم تونيكا Tunica، تعلو كتلة من خلايا أقل تنظيمًا، تعرف باسم كوربس Corpus، والطبقات الثلاث هى:

١ - الطبقة الخارجية (تعطى الرمز L-I):

تنقسم خلايا الطبقة الخارجية - محيطيًا - بصفة أساسية، وبذا .. تكون هى المسئولة عن تكوين طبقة البشرة، بينما لا تسهم فى تكوين أنسجة أخرى تحت البشرة إلا فى حالات نادرة.

٢ - الطبقة الوسطى (تعطى الرمز L-II):

تنقسم خلايا الطبقة الوسطى - محيطيًا - أثناء تكوين مبادئ الأعضاء النباتية. كما تنقسم - قطريًا - عند تكوين مبادئ الأوراق، وعليه .. فإن هذه الطبقة تعد مسئولة عن تكوين النسيج الوسطى (الميزوفيل) فى الأوراق، والطبقات الخارجية من القشرة، وبعض أجزاء الأسطوانة الوعائية، كما تنشأ منها الخلايا الجنسية (حبوب اللقاح والبويضات).

٣ - الطبقة الداخلية (تعطى الرمز L-III):

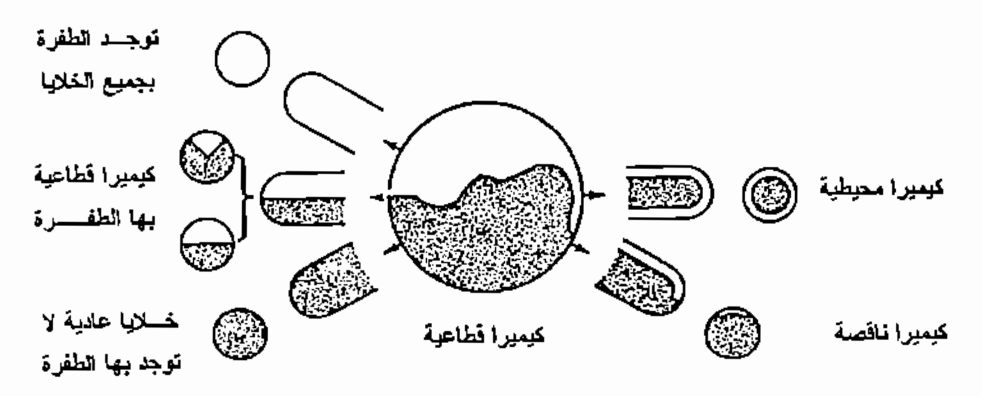
تنقسم خلايا الطبقة الداخلية - قطريًا - بشكل أساسى، وتكون هى المسئولة عن الزيادة فى حجم مبادئ الأعضاء النباتية. تحتفظ الخلية الخارجية - بعد كل انقسام لخلايا هذه الطبقة - بطبيعتها الميرستيمية، بينما تصبح الخلية الداخلية جزءًا من النسيج الداخلى للعضو النباتى، ولذا .. تعد هذه الطبقة مسئولة عن تكوين جميع الأنسجة الداخلية فى السيقان والأوراق، بما فى ذلك الطبقات الداخلية من القشرة والأسطوانية الوعائية والنخاع.

أنواع الكيميرا

توجد ثلاثة أنواع من الكيميرا، تظهر عند عمل قطاع فى العضو النباتى المحتوى على الطفرة، وهى:

الكيميرا القطاعية (أو المخروطية)

يحتوى العضو النباتى الذى تظهر به الكيميرا القطاعية Sectorial Chimera على نسيجين مختلفين فى تركيبهما الوراثى، يكون أحدهما على شكل مخروط، ويمتد هذا المخروط - غالبًا - من البشرة إلى منتصف العضو النباتى، سواء أكان ورقة، أم ساقًا، أم جذرًا. وتختلف النموات التى تنتج من هذا النوع من الكيميرا تبعًا للنسيج الذى تنشأ منه. وقد تظهر مختلف أنواع الكيميرا بهذه النموات كما هو مبين فى شكل (٩-٣).



شكل (٩-٣): تخطيط لقطاع عرضى (الدائرة الوسطى) فى ساق توجد بها كيميرا مقطعية يمثل الجزء الأبيض النسيج الذى توجد فيه الطفرة، بينما يمثل الجزء المظلل النسيج الأصلى للنبات. يبين الشكل أنواع الكيميرا التى يمكن أن تظهر بالفروع، التى تنمو من براعم، تتكون فى مواضع مختلفة من الساق الأصلية، وتبين الدوائر الجانبية شكل القطاعات العرضية لهذه الفروع وهى التى تظهر بها مختلف أنواع الكيميرا (عن **Hartmann & Kester ١٩٨٣**).

الكيميرا المحيطية

يحتوى العضو النباتى الذى تظهر به الكيميرا المحيطية Periclinal Chimera على نسيجين مختلفين فى تركيبهما الوراثى، يحيط أحدهما بالآخر إحاطة تامة. ويتكون

النسيج الخارجى – عادة – من طبقة واحدة إلى عدة طبقات من الخلايا. وغالبًا ما تكون الطبقة الخارجية هى التى تحتوى على النسيج المطفر، إلاّ أن الطفرة قد تكون فى النسيج الداخلى فى أحيان قليلة.

الكيميرا الناقصة

تتشابه الكيميرا الناقصة Mericlinal Chimera مع الكيميرا المحيطية فى وجود نسيجين مختلفين فى تركيبهما الوراثى، يحيط أحدهما بالآخر، ولكن الإحاطة فى حالة الكيميرا الناقصة تكون فى جزء صغير فقط من النسيج الخارجى للعضو الذى تظهر به الطفرة. ويعنى ذلك أن الطفرة تكون قد حدثت أصلاً فى إحدى الخلايا المسئولة عن تكوين جزء من نسيج البشرة. وتعتبر تلك هى أكثر أنواع الكيميرا – شيوعًا – فى الطبيعة.

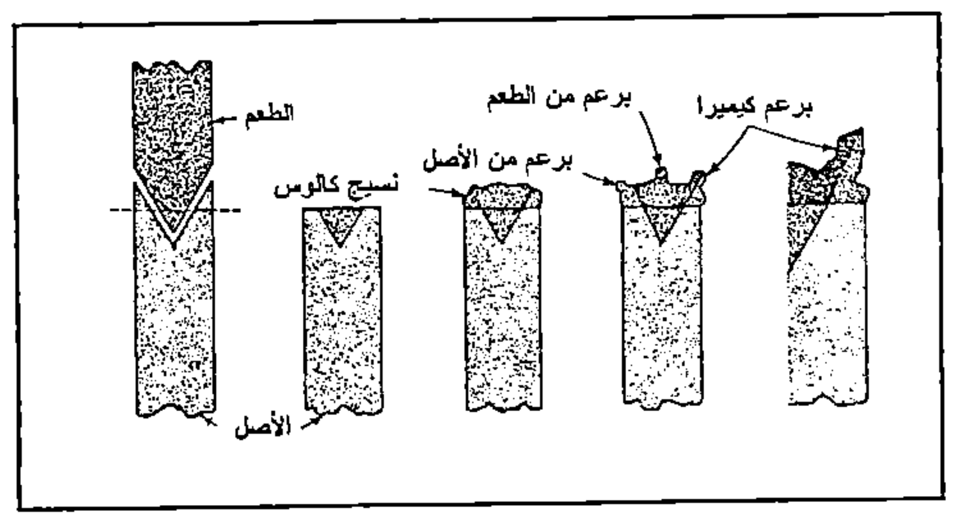
ويتوقف تطور الكيميرا على النبات على موقع البراعم العرضية التى تعطى النموات الجديدة بالنسبة للنسيجين المطفر والعادى. ويبدو ذلك جليًا فى شكل (٩–٣).

وتجدر الإشارة إلى أن كيميرا التطعيم Graft Chimera تتشابه مع كيميرا الطفرات فى المظهر العام، وفى إمكان ظهور الأنواع الثلاثة من الكيميرا فى أى منهما. وتحدث كيميرا التطعيم حينما ينشأ برعم من منطقة التحام الأصل بالطعم. وتتكون مثل هذه البراعم بصورة طبيعية – أحيانًا – إلاّ أنه يمكن دفعها للظهور بقطع الطعم حتى منطقة الالتحام فى النباتات الصغيرة المطعمة. ويتكون – حينئذ نسيج كالوس Callus Tissue على السطح المقطوع، تتكون فيه براعم عرضية، يكون بعضها من نسيج الأصل فقط، وبعضها من نسيج الطعم فقط، إلا أن بعضها يتكون من نسيجى الأصل والطعم معًا، وهى التى تعطى فروعًا تظهر فيها الكيميرا (شكلا ٩–٤، و ٩–٥).

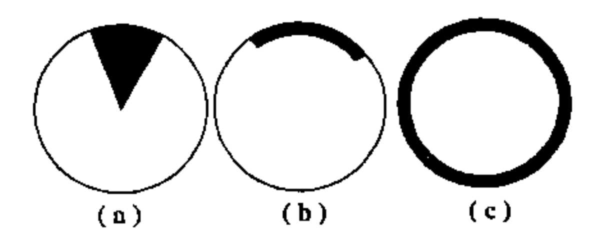
طرق إكثار الكيميرا

سبق أن أوضحنا أن القمة النامية فى البرعم تحتوى على ثلاث طبقات من الخلايا، وأن الطبقة الخارجية تنتج نسيج البشرة، بينما تنتج الطبقة الوسطى النسيج التمثيلى فى الورقة والأنسجة التناسلية فى كل من الطلع والمتاع، وتنتج الطبقة الثالثة الأنسجة الداخلية، وعليه .. فإن ظهور الطفرة فى كل خلايا الطبقة الخارجية يعنى ظهورها فى

طبقة البشرة فقط، ومثل هذه الطفرات لا تنتقل إلى الأنسجة التناسلية، ولا يمكن إكثارها بالبذور، ولكن يمكن المحافظة عليها بالإكثار الخضرى بواسطة العقل الساقية. أو بالترقيد القمى. وتجدر الإشارة إلى أنه لا يمكن المحافظة على هذا النوع من الطفرات بالعقل الجذرية؛ لأن النموات الجديدة التى تتكون من العقل الجذرية تنشأ من الأنسجة الداخلية التى لا تحتوى على الطفرة.



شكل (٩-٤): كيفية ظهور كيميرا التطعيم.



شكل (٩-٥): الأنواع المختلفة للكيميرا التى قد تنشأ عند التطعيم: (a) قطاعية أو مخروطية sectorial، و (b): ناقصة mericlinal، و (c): محيطية periclinal.

أما إذا ظهرت الطفرة فى خلايا الطبقتين الخارجية والوسطى .. فإنها تظهر بعد ذلك فى كل من خلايا البشرة وخلايا النسيج التناسلى، ويمكن – بالتالى – إكثار هذه النوعية من الطفرات – خضريًا بالعقل الساقية، وجنسيًا بالبذور – ولكنها – كسابقتها – لا يمكن إكثارها بالعقل الجذرية.

وإذا ظهرت الطفرة فى خلايا الطبقة الداخلية فقط .. فإنها لا توجد بعد ذلك إلاّ فى الأنسجة الداخلية، ولا يمكن إكثار هذا النوع بالعقل الساقية، أو بالبذور، ولكنه يكثر بالعقل الجذرية التى تنشأ فيها براعم عرضية من الأنسجة الداخلية. وتعطى هذه البراعم نموات تحتوى كل خلاياها على الطفرة، بما فى ذلك البذور التى تتكون عليها. كذلك يمكن إكثار الطفرات الداخلية بالعقل الساقية بعد إزالة براعمها؛ حتى تتكون بها براعم عرضية بديلة من أنسجتها الداخلية المحتوية على الطفرة.

وجدير بالذكر أن جميع خلايا النبات تحتوى على نفس الجينات، إلاّ أن الجين لا يظهر تأثيره إلا فى عضو نباتى معين؛ فقد تحدث – مثلاً – طفرة خاصة بلون مختلف لبتلات الأزهار فى خلايا الطبقة الداخلية، إلاّ أنها لا تظهر على النبات، لأن بتلات الأزهار لا تتكون من خلايا الطبقة الداخلية، ولا يمكن ظهور هذه الطفرة إلا إذا أكثر النبات الحامل لها بالعقل الجذرية، حيث تنشأ النموات الجديدة من الأنسجة الداخلية.

وتحتوى بعض أصناف البطاطس على كيميرا محيطية غير ظاهرة، ويمكن التحقق من ذلك بإزالة العيون من الدرنات لدفعها إلى تكوين عيون عرضية جديدة من الأنسجة الداخلية؛ – فمثلاً – تؤدى إزالة العيون من درنات الصنف نورتون بيوتى Norton Beauty ذى الدرنات المبرقشة إلى تكوين نموات، تعطى درنات ذات جلد أحمر مماثلة لدرنات الصنف ترايمف Triumph؛ وكذلك تؤدى إزالة عيون من درنات الصنف جولدن وندر Golden Wonder ذى الدرنات البنية والجلد السميك الخشن إلى تكوين نموات تعطى درنات ذات جلد رقيق أبيض ناعم، مماثلة لدرنات الصنف لانج ورثى Langworthy.

وجدير بالذكر .. أن حالات التبرقش Variegation – التى تشاهد فى أوراق عديد من النباتات – تعد كيميرا أيضًا، وهى تظهر عند حدوث طفرات فى الجينات السيتوبلازمية Plasmagenes (وهى التى تتحكم فى الصفات التى تورّث عن طريق الأمهات)، المسئولة عن محتويات الخلايا من البلاستيدات الخضراء؛ فيقل محتوى الكلوروفيل – بالتالى – فى الخلية التى تحدث فيها الطفرة، وفى جميع الخلايا التى تنشأ منها (Hartmann & Kester ١٩٨٣، Vaughn ١٩٨٣).

أمثلة للطفرات الطبيعية التى ظهرت فى المحاصيل الزراعية

يبين جدول (٩-٢) قائمة ببعض الأصناف المهمة التى ظهرت كطفرات طبيعية وانتخبت منها، لتصبح أصنافًا جديدة (عن Elliott ١٩٥٨، و Edmond وآخرين ١٩٧٥، و Welsh ١٩٨١).

جدول (٩-٢): قائمة ببعض الأصناف الهامة التى نشأت كطفرات طبيعية، ثم أكثرت لتصبح أصنافًا جديدة.

المحصول	الصنف الأصلى	الصنف المنتخب كطفرة	الصفات المميزة للطفرة
التفاح	Delicious	Starking	ثمرة جذابة اللون
	Northern Spy	Graham	
		عدة أصناف	النمو الندمج التقزم
الخوخ	Halehaven	Early Halehaven	التبكير فى النضج
البرتقال		Washington Navel	خلو الثمرة من البذور
	Washington Navel	Robertson Navel	اللب الجذاب
الجريب فروت		Thompson	اللب الوردى اللون
	Thompson	Thompson Seedless	خلو الثمرة من البذور
	Thompson Seedless	Texas Seedless	اللب الجذاب
	Emperor	Seedless Emperor	خلو الثمرة من البذور
العنب		Thompson Seedless	خلو الثمرة من البذور
البطاطا	Little Stem Jersey	Orils	ارتفاع محتوى الكاروتين
	Nancy Hall	Red Nancy	ارتفاع محتوى الكاروتين
	Centennial	Rose Centennial	الجلد ذو لون وردى فاتح
البطاطس	De Sota	Red Desota	الجلد ذو لون أحمر جذاب
	Burbank	Russet Burbank	الجلد ذو ملمس خشن جذاب
	Early Rose	Clobber	
	Triumph	Red Triumph	الجلد ذو لون أحمر
	Warba	Red Warba	الجلد ذو لون أحمر
	Sebago	Russet Sebago	الجلد ذو ملمس خشن مرغوب
	Pontiac	Red Pontiac	الجلد ذو لون أحمر
الورد	Briarcliff	Better Times	بتلات الزهرة ذات لون أحمر قاتم

وتعتبر الطفرات المسببة للتقزم فى الدُخن مثالاً للطفرات الطبيعية التى تمت الاستفادة منها على نطاق واسع فى مجال تربية النبات، حيث تتوفر ثلاثة طرز قزمية تختلف فيما تحمله من طفرات التقزم المتنحية، كما يلى:

التركيب الوراثى	طول النبات (ومثال)
$Dw_1Dw_1DW_2Dw_2dw_4dw_4$	طويل عادى (Tall White Sooner)
$dw_1dw_1Dw_2Dw_2dw_4dw_4$	قصير (Dwarf White Sooner)
$dw_1dw_1dw_2dw_2dw_4dw_4$	متقزم (Double Dwarf White Sooner)

هذا .. علمًا بأن الأصناف الثلاثة السابقة تحمل جينًا رابعًا يتحكم فى الطول - بحالة سائدة - هو Dw_3. وتحتوى معظم أصناف الدُخن التجارية المزروعة فى الولايات المتحدة على جينين أو ثلاثة من الجينات الأربعة التى تتحكم فى طول النبات (عن Poehlman & Sleper ١٩٩٥).

مزارع الأنسجة كمصدر للطفرات

من المعروف أن مزارع الأنسجة يمكن أن تكون مصدرًا غنيًا بالاختلافات الوراثية التى تحدث بفعل الطفرات الطبيعية فى تلك المزارع. ويستخدم المصطلح Somaclonal Variation لوصف مثل هذه النوعية من الاختلافات. وقد ظهرت اختلافات كثيرة بهذه الطريقة فى مزارع أنسجة لمحاصيل متباينة، مثل قصب السكر، والبطاطس، والأرز، والتبغ؛ فأمكن - مثلاً - العثور على سلالات من قصب السكر مقاومة لمرض فيجى (وهو مرض فيرسى تنقله نطاطات الأوراق)، والبياض الدقيقى؛ وكانت بعض هذه السلالات أعلى محصولاً من الصنف الأصلى المستخدم فى عمل مزارع الأنسجة. كما عثر على سلالات من البطاطس من صنف رست بيربانك Russet Burbank (الذى يعد أكثر الأصناف انتشارًا فى الزراعة فى أمريكا الشمالية)، اختلفت عن الصنف الأصلى فى بعض الصفات؛ مثل اندماج النمو، وموعد النضج، وتجانس الدرنات، ولون جلد الدرنة، واحتياجات الفترة الضوئية، وإنتاج الثمار. وتعتبر بعض هذه الصفات (مثل تجانس الدرنات، والتبكير فى وضع الدرنات) بمثابة تحسن عن الصنف الأصلى. كما أمكن عزل سلالات بطاطس من مزارع الأنسجة، كانت مقاومة لمرض الندوة المبكرة تحت ظروف الحقل، كما كان بعضها مقاومًا لعدة سلالات من الفطر المسبب لمرض الندوة

المتأخرة، وقد اختلفت إحدى السلالات الناتجة من مزارع الأنسجة عن الصنف رست بيربانك في ١٧ صفة. وأمكن الحصول على سلالات من الأرز، تختلف عن الصنف الأصلي في عدد الخلفات، وطول السنبلة، وطول ورقة العلم flag leaf وصفات أخرى. ولمزيد من التفاصيل عن هذا الموضوع .. يراجع Scowcroft (١٩٨٢)، و Maliga وآخرون (١٩٨٢).

ومن أهم التباينات الموروثة التي ظهرت في مزارع بعض المحاصيل الزراعية، ما يلي:

١ – التبغ: المقاومة للبكتيريا *Pseudomonas syringae*، وتحمل الألومنيوم، والمقاومة لمبيدى الحشائش chlorsulfuron، و sulfometuron methyl.

٢ – الذرة: المقاومة للسلالة T من الفطر *Helminthosporium maydis*، وهي تورث عن طريق السيتوبلازم (أميًّا).

٣ – الطماطم: المقاومة للفطر *Fusarium oxysporum*، وفيرس موزايك التبغ، وزيادة نسبة المادة الصلبة.

٤ – القمح: قلة الشمع، وتكون السفا، ولن القنبعة (العصيفة)، وشبيه الإنزيم Adh، والمقاومة للفطر *Helminthosporium sativum*، وتحمل الحرارة والجفاف.

٥ – الأرز: المقاومة للبكتيريا *Xanthomonas oryzae*، ومحتوى الليسين lysine، والتقزم ومقاومة الرقاد، وتحمل الملوحة.

٦ – الجنس *Brassica*: المقاومة للفطر *Phoma lingam* ولون البذور، وتحمل الملوحة.

٧ – البرسيم الحجازى: المقاومة للفطر *Fusarium oxysporum*.

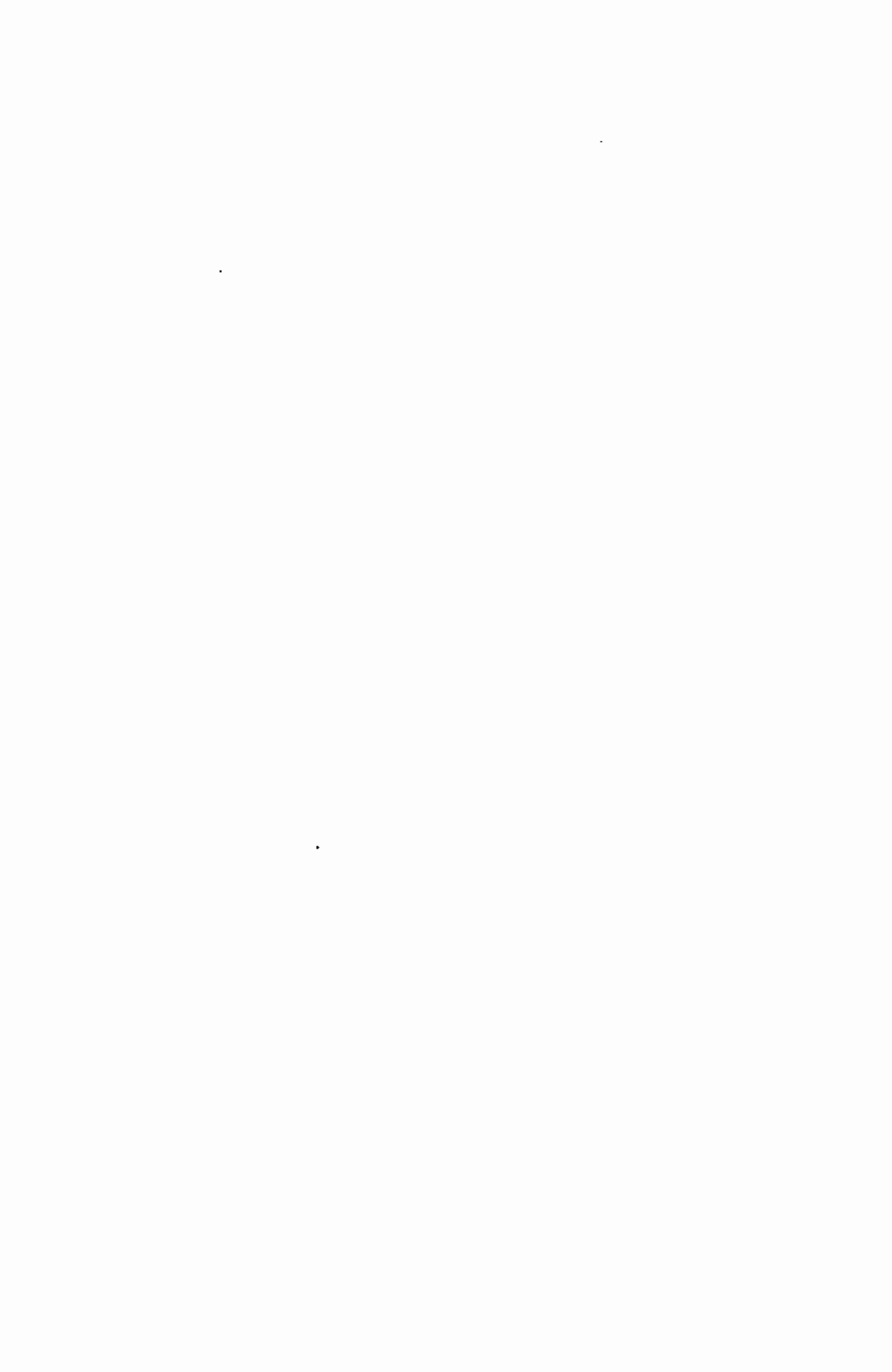
٨ – قصب السكر: المقاومة لمرض فيجي Fiji والبياض الزغبي وللفطر *Helminthosporium sacchari*.

٩ – البطاطس: المقاومة للفطرين *Alternaria solani*، و *Phytophthora infestans*.

١٠ – البطاطا: لون الجلد القرمزى الداكن.

١١ – الكرفس: المقاومة للذبول الفيوزارى.

١٢ – الفلفل: انخفاض عدد البذور بالثمرة (عن Brar & Jain ١٩٩٨).



الفصل العاشر

التربية باستحداث الطفرات

إن الطفرات المستحدثة Induced Mutations هي التي يتم إنتاجها صناعيًا عن طريق المعاملة بواسطة العوامل المطفرة Mutagenic Agents. وكانت أولى محاولات استحداث الطفرات في عام ١٩٢٧ حينما نشر Muller أن معدل الطفرات يمكن زيادته في حشرة الدروسفيلا لدى معاملتها بأشعة إكس X-rays، ثم حصل Stadler على نتائج مماثلة على نبات الشعير في العام التالي، وقد أعقب ذلك محاولات كثيرة جادة لاستحداث الطفرات في المحاصيل الزراعية بغرض تحسينها، ويستخدم لذلك نوعان رئيسيان من العوامل المطفرة Mutagenic Agents هما: الأشعة، والمركبات الكيميائية.

أهداف التربية باستحداث الطفرات وحدود استخداماتها

إن الفائدة الرئيسية التي ترجى من محاولات استحداث الطفرات صناعيًا هي الحصول على اختلافات وراثية جديدة، يمكن استخدامها في برامج التربية لإنتاج أصناف جديدة محسنة، إلا أن فريقًا من العلماء يرون أن الطفرات الطبيعية تحدث بصفة دائمة، وأنها حدثت مرات عديدة خلال آلاف السنين التي زرعت فيها محاصيلنا الزراعية، وأن الطبيعة والإنسان قد قاما - دائمًا - بانتخاب أفضلها وأكثرها تأقلمًا مع الظروف البيئية؛ أي إن كل الطفرات التي نحاول استحداثها لابد أن تكون موجودة بالفعل في الجيرمبلازم المتوفر لدينا، ولا يتطلب الأمر أكثر من تقييم هذا الجيرمبلازم للبحث عن الصفات المرغوبة. ومما يؤيد هذا الاعتقاد .. أن الغالبية العظمى من الطفرات المستحدثة تكون لصفات غير مرغوبة؛ حيث تزيد كثيرًا نسبة الطفرات غير المرغوبة (الضارة) إلى الطفرات المرغوبة (المفيدة) - لدى استعمال أشعة أكس - عن ١:٨٠٠.

ولكن نظرًا لأن معدل حدوث الطفرات الطبيعية منخفض للغاية؛ حيث يبلغ حوالي واحد في المليون للجين الواحد؛ فإننا نلجأ إلى المعاملة بالعوامل المطفرة لأجل زيادة

معدل حدوث الطفرات فى الصفات المرغوب فيها. وتحدث الزيادة فى معدل حدوث الطفرات الطبيعية بفعل عوامل كثيرة؛ منها: التعريض للحرارة العالية وتخزين البذور لفترات طويلة، ومن خلال مزارع الأنسجة، والمعاملة بالإشعاع، والمعاملة بالمركبات الكيميائية المطفرة.

هذا .. إلا أن إجراء أى برنامج للتربية يعتمد على استحداث الطفرات المرغوب فيها لا يكون مبررًا إلا فى حالة غياب تلك الطفرات تمامًا من الجيرمبلازم المتاح لبرنامج التهجين والانتخاب، وبعد أن يعجز المربى عن تحسين المحصول بالطرق الأخرى.

وتجدر الإشارة إلى أنه لا يمكن توجيه العوامل المطفرة نحو جين معين لتغييره وإنتاج آليل جديد منه، وإنما تحدث الطفرات بصورة عشوائية، ويكون للظروف السابقة للمعاملة تأثير بالغ فى مدى الاستجابة لها. ومن أهم العوامل المؤثرة التغذية المعدنية للنبات، والتضاعف polyploidy.

كذلك فإنه نادرًا ما تظهر الطفرة المرغوب فيها – منفردة – عقب المعاملة بالعوامل المطفرة؛ حيث غالبًا ما تظهر عدة طفرات فى آن واحد، وغالبًا ما تكون أكثرية تلك الطفرات ضارة؛ ولذا .. فإن الطفرات المستحدثة نادرًا ما تستخدم بصورة مباشرة وإنما تستعمل فى برامج التربية بالتهجين للاستفادة منها فى إنتاج أصناف جديدة.

ونظرًا للانخفاض الشديد فى نسبة الطفرات المرغوب فيها التى تستحدث بفعل التعريض للعوامل المطفرة .. فإن نجاح أى برنامج للتربية باستحداث الطفرات يعتمد على تقييم أعداد كبيرة من النباتات فى تلك الصفات.

ويكون من المناسب إجراء برنامج التربية باستحداث الطفرات فى أى من الحالات التالية:

١ – عندما لا تتوفر الصفة أو الصفات المرغوب فيها فى جيرمبلازم المحصول.

٢ – عندما تكون الجينات المرغوب فيها متوفرة فى جيرمبلازم المحصول، ولكنها تكون مرتبطة بشدة بجينات أخرى مرغوب فيها.

٣ – عندما تتوفر أصناف جيدة جدًا من الناحية الزراعية، ولكن تنقصها صفة

واحدة؛ حيث يكون استحداث الطفرات فى تلك الأصناف أفضل وسيلة لتحسينها دون إحداث تغيرات غير مرغوب فيها فى خلفيتها الوراثية.

٤ – حينما تكون التغيرات المرغوب فيها مطلوبة فى محصول خضرى التكاثر (عن Chopra ٢٠٠٠).

مدى ملاءمة التربية بالطفرات لمختلف المجاميع المحصولية

تعد النباتات الذاتية التلقيح أكثر المجاميع المحصولية ملاءمة للتربية بالطفرات؛ لأن الطفرات المتنحية تنعزل فيها بحالة أصيلة فى الجيل التالى، دونما حاجة إلى إجراء التلقيح الذاتى يدويًا، بالإضافة إلى أنها متجانسة ولا يجدى معها الانتخاب إلاّ بعد استحداث الاختلافات الوراثية فيها، كما يمكن التعرف على الطفرات التى تظهر فيها بسهولة؛ لأنها صادقة التربية.

كما تناسب التربية بالطفرات النباتات الخضرية التكاثر؛ لأن النباتات التى تظهر بها طفرات مرغوبة يمكن إكثارها خضريًا؛ لتصبح صنفًا جديدًا. وتجدر الإشارة إلى أن التربية بالطفرات فى المحاصيل الخضرية التكاثر تعادل فى تأثيرها التربية بطريقة التهجين الرجعى فى المحاصيل الجنسية التكاثر؛ ذلك لأن الإكثار الخضرى للطفرة يجعل منها صنفًا جديدًا مشابهًا تمامًا للصنف الأصلى (الذى عومل بالعوامل المطفرة). فيما عدا الصفة المرغوبة وهى الطفرة.

كذلك .. تتبع التربية بالطفرات فى تحسين نباتات الزينة؛ إذ إن التشوهات التى قد تحدثها المعاملة بالعوامل المطفرة قد تكون – فى حد ذاتها – صفات مرغوبة فى هذه النباتات.

أما المحاصيل الخلطية التلقيح .. فلا تناسبها التربية بطريقة الطفرات، لما تتطلبه من جهد كبير لتلقيح أعداد كبيرة منها ذاتيًا؛ لعزل الطفرات المتنحية بحالة أصيلة، كما تكثر بها الاختلافات الوراثية بطبيعتها. وبالرغم من ذلك .. فقد أمكن الوصول إلى نتائج مرضية مع هذه النباتات عند زراعتها متجمعة in bulk.

وتجدر الإشارة إلى أنه يكون من الأسهل اكتشاف الطفرات فى الصفات النوعية البسيطة عما فى الصفات الكمية التى يتحكم فيها عدد كبير من العوامل الوراثية.

هذا .. وتختلف الحساسية للعوامل المطفرة باختلاف الأنواع النباتية. وقد بيَّن كثيرون أن النباتات ذات الكروموسومات الكبيرة أكثر حساسية من النباتات ذات الكروموسومات الصغيرة، بينما تقل الحساسية فى النباتات المتضاعفة عما فى أصولها الثنائية، وفى الهجن عما فى آبائها، وتزيد معدلات استحداث الطفرات فى العشائر القليلة التجانس عما فى السلالات النقية.

نوعية التأثيرات التى تحدثها العوامل المطفرة

يكون للعوامل المحدثة للطفرات تأثيرات فسيولوجية، وأخرى وراثية على النباتات المعاملة، كما يلى:

١ – التأثير الفسيولوجى:

تُحدث معظم العوامل المطفرة تأثيرات فسيولوجية فى النباتات المعاملة، تظهر على شكل زيادة فى قوة النمو النباتى فى الجيل المعامل؛ فتؤدى معاملة البذور إلى زيادة فى قوة نمو البادرات التى تنمو منها، وتؤدى معاملة الأجزاء الخضرية المستخدمة فى التكاثر إلى زيادة فى قوة نمو النباتات التى تنتج منها، مع زيادة فى سمك الأوراق أو ظهور تعريق غير عادى بها. ويختفى هذا التأثير الفسيولوجى فى مرحلة متأخرة من حياة النبات، ولا يظهر فى الجيل التالى، سواء أكان التكاثر جنسيًّا، أم خضريًّا. ولا يمكن التمييز بين التأثير الفسيولوجى للعوامل المطفرة، والطفرات الحقيقية إلاّ فى الجيل الثانى بعد المعاملة.

٢ – التأثير الوراثى:

تحدث المعاملة بالعوامل المطفرة تأثيرات وراثية تكون على شكل طفرات عاملية، أو تحورات كروموسومية أو كليهما معًا. وتكون معظم الطفرات ضارة، وغالبيتها متنحية، خاصة فى النباتات الثنائية المجموعة الكروموسومية، بينما تكثر الطفرات السائدة سيادة تامة أو جزئية فى النباتات المتضاعفة.

ويدل عديد من الدراسات على أن كثيرًا من الطفرات التى يحدثها الإشعاع تكون على صورة نقص فى جزء صغير من الكروموسوم، إلا أنه حدث ارتداد للحالة الأصلية فى بعض الطفرات؛ مما يدل على عدم صحة الرأى القائل بالنقص الكروموسومى، وإذا

حدثت الطفرات نتيجة للنقص الكروموسومى .. فإنها تكون غير ذات قيمة فى تحسين المحصول.

ويكون لبعض الطفرات تأثير متعدد Pleiotropic، ويكون بعضها مرتبطًا بطفرات أخرى، كما يمكن أن تحدث الطفرات فى الصفات الكمية؛ ومن أمثلة ذلك أنه أمكن الحصول على سلالات من الفول السودانى - بعد معاملته بالإشعاع - كانت أعلى محصولا من الصنف الأصلى.

أما التحورات الكروموسومية .. فإنها تكون ذات تأثير سلبى غالبًا، إلا أنها تسمح للمربى بتغيير تركيب الكروموسومات بالطريقة التى يراها مفيدة لتحقيق أهداف برنامج التربية.

كيفية حدوث الطفرات

يحدث التأثير المطفر للمعاملة بالعوامل المطفرة بإحدى طريقتين أو بكلتيهما، كما يلى:

١ - التأين Ionization:

يحدث التأين حينما تتصادم الأشعة ذات الموجات الضوئية القصيرة جدًّا مع الذرات التى يتكون منها النسيج النباتى المعامل؛ حيث يؤدى هذا التصادم إلى إطلاق إليكترونات من هذه الذرات مخلفة وراءها أيونات. وتتصادم الإليكترونات المنطلقة بدورها، مع ذرات وجزيئات أخرى؛ لتخلف وراءها مزيدًا من الأيونات، وينطلق منها مزيد من الإليكترونات؛ وبذا .. تتجمع الإليكترونات فى مسار الأشعة، وتكون الذرات المتأينة أكثر قابلية للتفاعلات الكيميائية، وإذا حدث ذلك فى الذرات التى يتكون منها جزئ الحامض النووى DNA .. فإنه يؤدى إلى ظهور الطفرات.

وتختلف الطريقة التى يحدث بها التأين باختلاف الأشعة المؤينة كما يلى:

تُحدث الأشعة الجزيئية Particulate Radiation تأثيرها عندما يمر جزئ سريع ذو شحنة موجبة فى المادة؛ حيث يقوم بجذب إليكترون من مدار إحدى الذرات؛ فتصبح تلك الذرة أيونًا موجبًا. أما الأيون المنطلق منها .. فإنه يتصل بذرة أخرى، فتصبح بذلك أيونًا سالبًا.

أما النيترونات السريعة الحركة .. فإنها تتصادم مع نواة الذرة، مما يؤدى إلى إثارتها، وانطلاق الجزيئات الموجبة الشحنة منها، وهو ما يؤدى إلى مزيد من التأين بإزالة الإليكترونات من المدار الخارجي لذرات أخرى .. وهكذا.

أما الأشعة الكهرومغناطيسية .. فإنها تحدث التأين بطريقة ثانوية، حيث تؤدى الطاقة التى يكتسبها الوسط من هذه الموجات إلى إحداث حالة من عدم الثبات، يتبعها فقدان إليكترونات من المدارات الخارجية للذرات، تحدث بدورها مزيدًا من التأين.

٢ - الإثارة Exitation:

تحدث الإثارة عند المعاملة بالأشعة فوق البنفسجية، حيث تمتصها البيورينات purines والبيرميدينات pyrimidines التى توجد فى الحامض النووى DNA، وتؤدى الأشعة إلى رفع إليكترونات الذرات التى تكون فى طريقها إلى مدارات أعلى يكون مستوى الطاقة فيها أكبر وتكون هذه الذرات المثارة أكثر قابلية للتفاعلات الكيميائية، وهو ما يزيد من فرصة حدوث الطفرات (Gardner & Sunstad ١٩٨٤).

الأشعة المحدثة للطفرات

يعد الإشعاع Radiation من أهم العوامل المطفرة، حيث تُحدث الأشعة فوق البنفسجية وجميع أنواع الأشعة ذات الموجات الضوئية الأقصر منها طفرات فى الكائنات الحية التى تتعرض لها.

تقسيم الأشعة حسب طريقة تأثيرها

تقسم الأشعة حسب طريقة تأثيرها إلى مجموعتين هما:

١ - الأشعة غير المؤينة Non-ionizing Radiations، ومن أمثلتها الأشعة فوق البنفسجية Ultraviolet Rays.

٢ - الأشعة المؤينة Ionizing Radiations، ومن أمثلتها: أشعة ألفا alpha rays وأشعة بيتا beta rays، وأشعة إكس X-rays، وأشعة جاما gamma rays، والنيترونات neutrones.

تعتبر النظائر المشعة Iostopes من أهم مصادر الأشعة المؤينة، إذا إنها تنتج طاقة فى

صورة جزيئات particles، أو موجات waves، وكلاهما يعد إشعاعًا radiation. تكون الجزيئات المنطلقة من العناصر المشعة ذات طاقة عالية، ويمكنها أن تنقل طاقتها الكامنة هذه إلى أى وسط تمر فيه، وتعرف هذه الأشعة باسم الأشعة الجزيئية particulate or corpuscular radiations. أما الموجات التى تنطلق من العناصر المشعة .. فإنها تكون قصيرة جدًا، وذات طاقة عالية أيضًا، وتحدث اضطرابات كهربائية ومغناطيسية فى تركيب الوسط الذى تمر فيه، وتعرف هذه الأشعة باسم الأشعة الكهرومغناطيسية electromagnetic raditions.

وتشتمل الأشعة الجزيئية Corpuscular Radiations على كل من النيترونات البطيئة slow neutrons، وجزيئات ألفا، وبيتا. أما الأشعة الكهرومغناطيسية .. فإنها تتضمن كلا من أشعة x وأشعة جاما.

وحدات قياس الأشعة المؤينة

تستخدم الوحدات التالية فى قياس جرعات الأشعة المؤينة:

١ – الرونتجن Rontgen (r): تقاس به جرعات أشعة إكس، وأشعة جاما خاصة فى الهواء.

٢ – مكافئ الرونتجن الفيزيائى Rontgen Equivalent Physical (rep): تقاس به الأشعة الجزيئية particulate irradiation، خاصة فى الأنسجة الطرية soft tissues فى الدراسات البيولوجية.

٣ – جرعة الإشعاع المتصة Radiation Absorbed Dose (راد rad): تقاس به كل أنواع الأشعة فى الدراسات البيولوجية والفيزيائية، وتعتبر (الراد) وحدة امتصاص، وهى أكثر الوحدات استعمالاً.

٤ – الجراى Gray (ورمزها Gy)، وهو يعادل جول joule (J) واحد من الطاقة المتصة لكل كيلو جرام من المادة المعرضة للإشعاع ($J\ kg^{-1}$)، وهى الوحدة الدولية لقياس الجرعة المتصة، علمًا بأن الراد (rad) الواحد = ١٠٠ erg/جم = ٠,٠١ J/كجم؛ أى إن كل Gy (واحد J/كجم) = ١٠٠ راد = ١٠ erg/كجم.

أنواع الأشعة

فيما يلي بيان بأهم أنواع الأشعة المستخدمة في استحداث الطفرات:

أولاً: الأشعة فوق البنفسجية

تولد الأشعة فوق البنفسجية Ultraviolet Radiation بواسطة لمبات بخار الزئبق، وتتراوح أطوال موجاتها من ١٠٠ إلى ٤٠٠ مللى ميكرون (نانوميتر)، ولكن أكثر موجاتها تأثيرًا هي التي تكون بطول ٢٥٤ مللى ميكرونًا؛ لأنها أكثرها امتصاصًا بواسطة البيورينات والبيرميدينات التي يتكون منها الحامض النووي DNA. وتُحدث الأشعة فوق البنفسجية تأثيرها بواسطة الإثارة التي تسرع من التفاعلات الكيميائية في الأنسجة التي تتعرض لها. وهي لا تعتبر من الأشعة المؤينة باستثناء ما يكون منها في مدى الموجات القصيرة جدًّا. وتكون أغلب الطفرات التي تحدثها الأشعة فوق البنفسجية من النوع العاملي، وإذا أحدثت الأشعة كسورًا كروموسومية .. فإنها تكون طرفية عادة، وغالبًا ما يلتحم الجزء المكسور في مكانه الأصلي، أو يفقد بما يحمله من جينات.

ويُعاب على الأشعة فوق البنفسجية أنها لا تتعمق كثيرًا في الأنسجة المعاملة، وهو ما يحد من استعمالها، ويقتصر استعمالها – غالبًا – على معاملة حبوب اللقاح.

ثانيًا: أشعة ألفا

يحصل على أشعة ألفا Alpha Rays من النظائر المشعة مثل الفوسفور (^{32}P)، والكربون (^{14}C) وهي أشعة جزيئية Particulate، عبارة عن أنوية الهليوم؛ إذ تتكون من جزيئات، يحتوي كل منها على عدد ٢ بروتون، و ٢ نيترون، وتكون – بالتالي – ذات شحنة موجبة. وهي خطرة جدًّا إذا وصلت إلى جسم الإنسان، ولكن يمكن الحماية منها بورقة رقيقة، ولا يتعدى اختراق هذه الأشعة للأنسجة النباتية أكثر من جزء صغير من المليمتر؛ ذلك لأنها تحمل شحنة موجبة؛ فتقل سرعتها تحت تأثير الشحنات السالبة التي توجد في المادة. تحدث أشعة ألفا تأينًا شديدًا، وتتسبب في حدوث تحورات كروموسومية غالبًا.

ثالثًا: أشعة بيتا

يحصل على أشعة بيتا Beta Rays (أو أشعة الكاثود) من النظائر المشعة مثل

الفوسفور المشع (^{32}P)، والكبريت المشع (^{35}S)، وهى أشعة جزيئية، عبارة عن إليكترونات سريعة الحركة تقذفها أنوية الذرات غير الثابتة للعناصر المشعة. وقد تكون هذه الأشعة خطرة على الإنسان، ويمكن الحماية من أخطارها بلوح سميك من الكارتون. وتخترق أشعة بيتا الأنسجة النباتية لمسافة عدة ملليمترات فقط، لأنها تحمل شحنات سالبة؛ فتقل سرعتها تحت تأثير الشحنات الموجبة التى توجد فى المادة. وتحدث أشعة بيتا تأثيرها بطريق التأين، ولكن بدرجة أقل من أشعة ألفا، وتتسبب فى حدوث طفرات عاملية وتحورات كروموسومية. وتعامل بأشعة بيتا كل من البذور والبادرات، ولكن يغلب استعمالها فى معاملة البذور. وتغمر الأجزاء النباتية التى يُراد معاملتها مدة مناسبة فى تركيز مناسب من محلول مائى لأحد المركبات التى يدخل العنصر المشع فى تكوينها، وقد يضاف المحلول للتربة التى تنمو فيها النباتات فى بعض الحالات.

رابعًا: أشعة جاما

يُحصل على أشعة جاما Gamma Rays من النظائر المشعة فى المفاعلات النووية، حيث تنطلق من العنصر المشع كوبالت ٦٠ ^{60}Co، أو سيزيوم ١٣٧ ^{137}Cs وهى أشعة كهرومغناطيسية، تشبه الضوء العادى، إلاّ أن طاقتها عالية، وموجاتها أقصر بكثير، وتعتبر بمثابة أشعة إكس طبيعية، إلاّ أن موجاتها أقصر منها كثيرًا أيضًا، ولها قدرة أكبر على اختراق الأنسجة. وبينما تتراوح أطوال موجات الضوء العادى من ٤٠٠–٧٠٠ مللى ميكرون، ويصل طول موجة أشعة إكس إلى ٠,٠٥ مللى ميكرونًا. فإن معظم أشعة جاما تقل أطوال موجاتها عن ٠,٠٠١ مللى ميكرونًا، وتعد أشعة جاما خطرة على الإنسان؛ إذ إنها تخترق الجسم بقوة، ولا يمكن الحماية منها إلا بعازل من الرصاص، يبلغ سمكه عدة سنتيمترات، أو بعازل من الأسمنت، يبلغ سمكه عدة أقدام.

تخترق أشعة جاما الأنسجة النباتية لعدة سنتيمترات. وتجرى معاملة النباتات وهى فى حقول المفاعلات النووية؛ حيث تعرض للأشعة المنطلقة من مفاعل ذرى به الكوبالت المشع ^{60}Co. يوجد المفاعل تحت الأرض؛ حيث يوجد العنصر المشع فى صندوق سميك من الرصاص، ويرفع آليًا من بعد إلى أن تتم المعاملة، ثم يعاد إلى مكانه تحت الأرض.

تحـدث الأشـعة تأثيراتـها بطريـق التـأين، وينتـج عنـها طفـرات عامليـة وتحـورات كروموسومية كثيرة.

تستعمل أشعة جاما فى معاملة البذور والبادرات والنباتات الناميـة فـى الأصـص فـى دوائر حول المفاعل، وتكون جرعة الإشعاع أعلى مـا يمكـن بـالقرب مـن المفـاعل، وتقـل شدتها كلما ابتعدنا عنه، وقد تعطى معاملة اشعة جاما على صورة جرعـة واحـدة كبـيرة فى أماكن خاصة مجهزة لذلك.

خامسًا: أشعة إكس

تُولَّد أشعة إكس X-Rays بواسطة أجهزة خاصة، وهى أشعة كهرومغناطيسـية، ذات طاقة عالية، وتنتج على مستويات مختلفة مــن الطاقـة بحسـب طـول الموجـة المطلوبـة، وتتراوح أطوال الموجات من ٠,٠٠٥-٠,٠١ مللى ميكرونًا فى اشـعة إكـس ذات الموجـات القصيرة hard x-rays إلى ٠,١-١,٠ مللى ميكرونًا فى أشعة إكس ذات الموجـات الطويلـة soft x-rays. وتزيد طاقة الأشعة وقدرتها على اخـتراق الأنسـجة وإحـداث التـأين كلمـا قصرت موجاتها. وتعتبر أشعة إكس خطرة على الإنسان؛ إذ إنها تخترق الجسم. ويكفى للحماية منها عازل من الرصاص يبلغ سمكه عدة ملليمترات.

يبلغ مـدى اخـتراق أشـعة إكـس الأنسـجة النباتيـة مـن بضعـة ملليمـترات إلى عـدة سنتيمترات، وهـى تحـدث تأثيرهـا بطريـق التأيـن، وينتـج عنـها طفـرات عامليــة، وتحورات كروموسومية. وبينما تتناسب أعـداد التحـورات الكرومو‍سـومية التـى تحدثـها أشعة إكس – لوغاريتميًا – مع الجرعـة .. فـإن أعـداد الطفـرات العامليـة تتناسـب – خطيًا – معها؛ لذا نجد أن العـدد الأكـبر مـن التحـورات الكرومو‍سـومية التـى تحدثـها المعاملة يضع حدًا أعلى للجرعة التي يمكن استعمـالها، وهو ما يحد من عـدد الطفـرات العاملية التى يمكن إحداثها.

هذا .. وتختلف الجرعة التـى يتعـين استعمالها مـن أشـعة إكـس بـاختلاف النـوع النباتي والجزء العامل من النبات والعوامـل البيئيـة؛ فيمكـن – مثـلاً – تعريـض البـذور الجافة لجرعات أعلى من الأشعة عن البذور المستنبتة أو الأجزاء الخضريـة؛ لأن البـذور الجافة أقل حسـاسية للأشعة. والقاعدة العامة هى أن يعرض أى نسيج أو عضو نباتى إلى

أكبر جرعة يمكن أن يتحملها، دون أن تلحق به أضرار من جراء المعاملة؛ ذلك لأن عدد الطفرات المستحدثة يتناسب – خطيًّا – مع الجرعة كما سبق بيانه، وتتحدد الجرعة المناسبة بواسطة تجارب أولية لكل محصول على حدة. وعلى سبيل المثال .. فإن الجرعة المناسبة قدرت بنحو ٧٥٠٠ رونتجن فى البسلة، و ١٠٠٠٠ رونتجن فى الفاصوليا.

وتفضل أشعة إكس عن غيرها من الأشعة المحدثة للطفرات؛ للأسباب التالية:

١ – تعتبر الأجهزة المولدة لأشعة إكس فى متناول اليد، ويسهل تشغيلها.

٢ – تسهل معاملة البذور والأجزاء النباتية الأخرى بالأشعة.

٣ – من السهل تقدير الجرعة المناسبة من الأشعة وقياسها.

٤ – يمكن وقف تشغيل الأجهزة المولدة لأشعة إكس عند انتهاء المعاملة، بخلاف العناصر المشعة التى تشع بصورة مستمرة.

٥ – لا توجد مشاكل تتعلق باستعمال أشعة إكس كتلك الخاصة بمشاكل التداول أو التلوث بالعناصر المشعة، ويلزم – مع ذلك – الحرص عند تشغيل الأجهزة المولدة لأشعة إكس.

وتستعمل أشعة إكس فى معاملة البذور والبادرات، ويغلب استعمالها فى معاملة البذور.

سادسًا: البروتونات أو الديوترونات

تولد البروتونات أو الديوترونات بواسطة المفاعلات النووية، وهى أشعة جزيئية؛ عبارة عن أنوية ذرات الأيدروجين العادى بالنسبة للبروتونات، وأنوية ذرات الأيدروجين الثقيل بالنسبة للديوترونات، وهى خطرة جدًّا على الإنسان، ويمكن الحماية من أخطارها؛ بعازل من الماء، أو البارافين يبلغ سمكه عدة سنتيمترات، وهى تخترق الأنسجة النباتية لعدة سنتيمترات، وتعد من الأشعة المؤينة، وينتج عنها طفرات عاملية، وتحورات كروموسومية.

سابعًا: النيترونات البطيئة والسريعة

تولد النيترونات بالانشطار النووى لعنصر اليورانيوم ٢٣٥ فى مفاعل نووى، وتتفاعل

بعض النيترونات مع ذرات أخرى من اليورانيوم لتستمر عملية الانشطار، وبينما يمتص المفاعل بعض النيترونات، فإن بعضها الآخر يمر نحو خارج المفاعل من مخارج خاصة، وتلك هى التى يمكن استعمالها لغرض إحداث الطفرات. وتعد النيترونات السريعة هى تلك التى تكون طاقتها عالية لدى خروجها من المفاعل. أما النيترونات البطيئة فتكون طاقتها أقل ويتم إنتاجها بخفض طاقة النيترونات السريعة.

والنيترونات عبارة عن أشعة جزيئية تتكون من جسيمات عديمة الشحنة، أثقل قليلاً من البروتونات، ولا يستدل عليها إلاّ من أثار تفاعلها مع أنوية ذرات المادة التى تكون فى مسارها، حيث تطلق البروتونات من الأنوية التى تصيبها. وهى خطرة جداً على الإنسان، ويمكن الحماية منها بحاجز سميك من عناصر خفيفة؛ مثل الملح. وهى تخترق الأنسجة النباتية لعدة سنتيمترات، وتعد من الأشعة المؤينة، وينتج عنها طفرات عاملية وتحورات كروموسومية. وتستعمل هذه الأشعة فى معاملة البذور والبادرات، خاصة البذور (Elliott ١٩٥٨، و Herskowitz ١٩٦٥، و Grosch ١٩٦٥، و Briggs & Knowles ١٩٦٧، و Chaudhari ١٩٧١، و Lapins ١٩٨٣).

ولمزيد من التفاصيل عن الإشعاع وتأثيره البيولوجى .. يراجع Grosch (١٩٦٥)، و Drake (١٩٦٩)، و Lapins (١٩٨٣).

جرعة الإشعاع ومعدل الجرعة

تعرف الجرعة dose التى تتم بها المعاملة بالعامل المطفر، ومدة المعاملة باسم معدل الجرعة dose rate. وتعرف المعاملة الحادة acute بأنها تلك التى تجرى خلال فترة قصيرة تستمر لمدة دقائق قليلة أو ساعات معدودة. أما المعاملة المزمنة أو المتواصلة، فهى تلك التى يستمر فيها التعرض للعامل المطفر لمدة طويلة تكون بالأسابيع، أو الشهور، أو السنوات. ويعد معدل الجرعة من أوائل المتغيرات التى يتوجب اتخاذ قرار بشأنها فى أى برنامج للتربية باستحداث الطفرات.

هذا وتقسم جرعات الإشعاع إلى عالية (> ١٠ كيلو جراى)، ومتوسطة (١-١٠ كيلو جراى)، ومنخفضة (< ١ كيلو جراى). تستعمل الجرعات العالية فى تعقيم المنتجات الغذائية، والمنخفضة فى استحداث الطفرات فى البذور، حيث تتراوح الجرعات بين

٦٠، و ٧٠ جراى فى كثير من النباتات التى تتكاثر بذريًا، مثل الأرز، والقمح، والذرة، والفاصوليا، ولفت الزيت.

ويتم تحديد معدل الجرعة تجريبيًا؛ فمثلاً .. عند معاملة البذور فإن معدل الجرعة المناسب يكون هو ذلك الذى يؤدى إلى موت ٥٠٪ من البذور، وهى التى تعرف باسم LD_{50} (جدول ١٠-١). هذا .. مع العلم بأن أى بذرة تنبت، ولا يستطيع النبات إكمال نموه لحين إنتاج محصول جديد من البذور الكاملة الحيوية، أو أن لا يمكن للنبات الناتج منها أى ينتج ولو بذرة واحدة حية .. تعتبر ضمن الـ ٥٠٪ الميتة، أى ضمن الـ LD_{50} (عن Fehr ١٩٨٧).

جدول (١٠-١): جرعة أشعة جاما التى تلزم للقضاء على ٥٠٪ من البذور (LD_{50}) فى بعض العائلات النباتية (عن Gupta ٢٠٠٠).

العائلة	LD_{50}(Krad)
النجيلية	٢٠-٤٠
الباذنجانية	٣٠-٦٠
الكرنبية	١٢٠-١٤٠
الثومية	٢٠-٣٠
القرعية	٣٥-٦٠
البقولية	
الفول	٤-٦
البسلة	١٠-٢٧
الحمص	١٨-٢٦
الفاصوليا	١٥-٣٠
الفول السودانى	٣٥-٤٥

أما فى مزارع الأنسجة – حيث تجرى معاملة الإشعاع على ملليجرامات فقط من الأنسجة النباتية وميكروجرامات من معلقات الخلايا – فإن جرعة الإشعاع تكون شديدة الانخفاض، وتتراوح بين ٢، و ٥ جراى لمزارع الكالوس، و ١٥-٢٠ جراى للنباتات الصغيرة الناتجة من الإكثار الدقيق، علمًا بأن جرعات تزيد عن ١٠ جراى تؤثر سلبيًا – بدرجة كبيرة على حيوية مزارع الكالوس.

وعندما يرغب فى إحداث تغيرات وراثية فى وحدة واحدة، كأن تكون فى إحدى النيوكليوتيدات (من أجل الحصول على طفرة جينية point mutation) أو على صورة فقد فى جزء من أحد الكروموسومات (من أجل الحصول على فقد كروموسومى deletion) .. فإنه يكفى – عادة – التعرض للعامل المطفر مرة واحدة ولفترة قصيرة. أما إذا رغب فى إحداث تغيرات وراثية فى وحدتين أو أكثر، مثلما يكون عليه الحال عند الرغبة فى إحداث كسر فى كروموسومين مختلفين بغية الحصول على انتقال كروموسومى .. فإنه يفضل فى تلك الحالات التعريض للعامل المطفر عدة مرات وعلى فترة زمنية طويلة (عن Ahloowalia & Maluszynski ٢٠٠١).

المركبات الكيميائية المحدثة للطفرات

أنواع المركبات الكيميائية المحدثة للطفرات

تقسم المركبات الكيميائية المحدثة للطفرات – حسب فاعليتها – إلى الأقسام التالية:

١ – مركبات شديدة الفاعلية فى إحداث الطفرات، ولكنها خطرة الاستعمال، وسامة، وقد تسبب الإصابة بالسرطان لو تعرض لها الإنسان، ومن أمثلتها ما يلى:

ethylenimine (EI)

N-nitroso-N-ethylurea (NEU)

N-nitroso-N-methylurea (NMU)

1,4-bisdiazoacetylbutane

٢ – مركبات فعّالة فى إحداث الطفرات، وشائعة الاستعمال، ومن أمثلتها ما يلى:

diethyl sulphate (DES)

ethyl methane sulphonate (EMS) إيثيل ميثان سلفونيت

methy methane sulphonate (MMS)

isopropyl methane sulphonate (iPMS)

azide

colchicine الكولشيسين

٣ – مركبات أقل فاعلية فى إحداث الطفرات وأقل استعمالاً، ومن أمثلتها ما يلى:

caffeine الكافين

paraxanthine

adenine

formalin الفورمالين

phenols الفينولات

maleic hydrazide الماليك هيدرازيد

Potassium thiocyanate ثيوسيانات البوتاسيوم

dichloroacetone

chloroacetone

كما تقسم المركبات المحدثة للطفرات - حسب المجموعة الكيميائية التي تنتمي إليها - إلى المجاميع التالية:

١ - مجموعة شبيهات القواعد Base Analogues: تحل محل القواعد النيتروجينية في الأحماض النووية، ومن أمثلتها ما يلي:

5-bromo-uracil

5-bromodexoyuridine

2-amino-purine

ومن المركبات القريبة من شبيهات القواعد ما يلي:

8-ethoxy caffeine

maleic hydrazide

Theophyline

Paraxanthine

Theobromine

Tetramethyluric acid

Nebularine

٢ - مجموعة مضادات الحيوية Antibiotics، ومن أمثلتها ما يلي:

Azaserine

mitomycin C

streptonigrin

actinomycin D

٣ – مجموعة المركبات القلوية Alkylating Agents :

تنتمى المركبات القلوية المحدثة للطفرات إلى مجاميع كيميائية مختلفة ، منها مركبات المسترد الكبريتية Sulfur Mustards، ومركبات المسترد النيتروجينية Nitrogen Mustards، والإبوكسيدات Epoxides، والإيثيلين إمينات Ethyleneimines، والكبريتات Sulfates والسلفوناتات Sulfonates، والسلفونات Sulfones، واللاكتونات Lactones، والديازو ألكينات Diazoalkanes، ومركبات النيتروزو Nitrozo compounds.

ومن أهم المركبات الكيميائية القلوية المحدثة للطفرات ما يلى:

Ethyl-2-chloroethyl sulfide

2-chloroethyl-dimethyl amine

Ethylene oxide

Ethyleneimine

Ethyl methanesulfonate

Diazomethane

N-ethyl-N-nitroso urea

n-Butylmethanesulphonate

cis-1: 4-Dimethanesulphonoxybut-2-ene

p-N-di-(Choloroethy) - phenyl propionic acid

1: 4-Dimethanesulphonoxybutane

p-N-di (Chloroethyl)-phenylamino butyric acid

trans-1: 4-Dimethanesulphonxy but-2-enc

p-N-di-(Choloroethyl)-phenyl valeric acid

p-N-di-(Chloroethy)-phenyl acetic acid

1:2, 3:4-Diepoxybutane

D: P-N-di-(Chloroethyl)-phenylalanine

L:p-N-di-(Chloroethyl)-phemylalanine

1:4-Dimethanesulphonoxybut-2-ene

p-N-di-(Choroethyl)-phenyl butyric acid

2:4:6-tri-(Ethyleneimino)-1:3:5-Triazine

٤ – مجموعة الأزايد Azide: ومن أمثلتها ما يلى:

Sodium azide

٥ – مجموعة الهيدروكسيل أمين Hydroxylamine: من أمثلتها ما يلى:

Hydroxlamine

٦ – مجموعة حامض النيتروز: Nitrous Acid .. من أمثلتها ما يلى:

Nitrous Acid

٧ – مجموعة الأكريدينات Acridines .. ومن أمثلتها ما يلى:

Acridine orange

٨ – مركبات أخرى مثل:

Chloroacetone

Dichloroacetone

Potassium Thiocyanate

Ethyl Carbamate

Formalin

Phenols (عدة فينولات)

Manganous chloride

ويبين شكل (١٠–١) التركيب الكيميائى البنائى لبعض من تلك المركبات المطفرة (عن Gardner وآخرين ١٩٩١).

ويُجمع الباحثون على أن أهم المركبات التى تستخدم فى استحداث الطفرات، هى ما يلى (عن Fehr ١٩٨٧، و Chopra ٢٠٠٠):

١ – إثيل ميثان سلفونيت Ethyl methansulfonate:

الرمز: EMS.

التركيب الكيميائى: $CH_3SO_2OC_2H_5$.

الطبيعة: عديم اللون.

التركيز المستعمل عادة: ١,٠–٣,٠٪.

يعد الإثيل ميثان سلفونيت أهم المركبات المحدثة للطفرات، وأكثرها استعمالاً، وهو

غير سام نسبيًا. يستخدم المركب على صورة محلول مـائى تنقـع فيـه البـذور أو الجـذور الصغيرة للنباتات التى يـراد معاملتـها، وأكـثر الطفـرات التـى يحدثـها هـى مـن النـوع العاملى.

الاسم الكيميائى للمركب	الاسم العادى أو المختصر للمركب	التركيب الكيميائى
I. Alkylating agents المركبات القلوية		
Di-(2-chloroethyl) sulfide	Mustard gas or sulfur mustard	$Cl—CH_2—CH_2—S—CH_2—CH_2—Cl$
Di-(2-chloroethyl) methylamine	Nitrogen mustard	$Cl—CH_2—CH_2—N(CH_3)—CH_2—CH_2—Cl$
Ethylmethane sulfonate	EMS	$CH_3—CH_2—O—SO_2—CH_3$
Ethylethane sulfonate	EES	$CH_3—CH_2—O—SO_2—CH_2—CH_3$
N-Methyl-*N'*-nitro-*N*-nitrosoguanidine	NTG	$HN{=}C(—NH—NO_2)—N(—N{=}O)—CH_3$
II. Base analogs شبيهات القواعد		
5-Bromouracil	5-BU	
2-Aminopurine	2-AP	
III. Acridines الأكريدينات		
2,8-Diamino acridine	Proflavin	
IV. Deaminating agents المزيلة لمجموعة الأمين		
Nitrous acid		HNO_2
V. Miscellaneous مركبات أخرى		
Hydroxylamine	HA	NH_2OH

شكل (١٠-١): التركيب الكيميائى البنائى لبعض من أهم المركبات المطفرة.

٢ – إن مثيل إن نيتروزويوريا N-methyl-N-nitrosourea:

الرمز: (MNH).

التركيب الكيميائى: $CH_3(ON)N\text{-}CONH_2$

الطبيعة: مادة صلبة صفراء اللون

التركيز المستعمل عادة: ٠,٠١–٠,٠٣٪.

٣ – إن إثيل إن نيتروزويوريا N-ethyl-N-nitrosourea:

الرمز: (ENH).

التركيب الكيميائى: $C_2H_5(ON)N\text{-}CONH_2$

الطبيعة: مادة صلبة صفراء اللون.

التركيز المستعمل عادة: ٠,٠١–٠,٠٣٪.

٤ – آزايد الصوديوم Sodium azide:

التركيب الكيميائى: NaO_3.

الطبيعة: مادة صلبة بيضاء اللون.

التركيز المستعمل عادة: ٠,٠٠١–٠,٠٠٤ مولار M.

٥ – إثيل نيتروزويوريثين Ethyl nitroso urethane:

الرمز: (ENU).

٦ – إثيلين إمين Ethyleneimine:

الرمز: (EI).

٧ – داى إثيل سيلفيت Diethyl sulfate:

الرمز: (DES).

كيفية إحداث المركبات المطفرة لتأثيرها

نجد – بصورة عامة – أن المركبات الكيميائية المطفرة تحدث تأثيرها بطريقتى التأين والإثارة، وينتج عنها طفرات عاملية أكثر من التحورات الكروموسومية، إلاَّ أن النسبة بين نوعى الطفرات تختلف باختلاف المركب المستعمل (Willams ١٩٦٤، و Lapins ١٩٨٣).

تنتمى المركبات المطفرة المفضلة إلى ما يعرف باسم الـ alkylating agents، وهى تتضمن المركبات: EMS، و MNH، و ENH، ويعنى بالـ alkylation إحلال مجموعة alkyl (مثل C_2H_5 من EMS) محل ذرة أيدروجين فى قاعدة آزوتية بالدنا.

ويُحدث الـ akylation للدنا التأثيرات التالية:

١ – إذا حدث في مجموعة الفوسفات فإنه تتكون phosphate triesters تكون غير ثابتة، وتطلق مجموعة الـ alkyl، ولكن إذا ما تبقى عدد كاف من مجموعات الـ alkyl، فإنها تتعارض مع انقسام الدنا. وأحيانًا .. يتحلل الـ phosphate triesters بين مجموعتى السكر والفوسفات؛ مؤديًا إلى تقطع شريط الدنا.

٢ – إذا حدث في القواعد الآزوتية فإن الموقع السابع للجوانين يكون هو المفضل لعملية الـ alkylation، إلا أن معظم التأثيرات المطفرة تنشأ فى حالات الـ alkylation عند الموقع السادس للجوانين، حيث يمكنه الاقتران مع الثيامين؛ مما ينشأ عنه ترحيل transition لمواقع اقتران القواعد.

٣ – يمكن للـ alkylated guanine أن ينفصل عن الديوكسى ريبوز deoxyribose؛ مما يجعله depurinated. ويمكن أن تُملأ تلك الفجوة – حينئذٍ – بأى قاعدة أثناء ازدواج الدنا؛ مما يؤدى إلى حدوث الطفرات (عن Chopra ٢٠٠٠).

ولدراسة فعل المركبات الكيميائية المحدثة للطفرات على المستوى الجزيئى .. يراجع Drake (١٩٦٩).

الأمور التى تجب مراعاتها بشأن استخدام المركبات المطفرة

تعتبر المركبات المطفرة شديدة التفاعل؛ فهى تتفاعل حتى مع الماء الذى تُذاب فيه؛ فمثلاً يتفاعل الـ EMS مع الماء معطيًا methane sulphonic acid وإيثانول، كما يلى:

$$CH_3SO_2OC_2H_5 + H_2O \longrightarrow CH_3SO_2OH + C_2H_5OH$$

ولذا .. فإنه – عمليًّا – يجب تحضير محاليل المركبات المطفرة قبل استعمالها مباشرة، وألاّ تخزن. وتقاس سرعة تحلل تلك المركبات بفترة نصف الحياة half life، وهى الوقت الذى يستغرقه تحلل نصف الكمية الأصلية. وعلى سبيل المثال .. تقدر فترة نصف الحياة في الـ EMS فى الماء (عند pH=٧,٠) بـ ٩٣ ساعة على ٢٠°م، و ٢٦ ساعة على ٣٠°م، و ١٠,٤ ساعة على ٣٧°م.

وتوّصف الجرعة بكل من تركيز المركب المستخدم ومدة المعاملة الكلية (عن Chahal & Gosal ٢٠٠٢).

هذا .. ويجب تداول جميع المركبات المحدثة للطفرات بحذر شديد؛ فتؤخذ كافة الاحتياطات كى لا تصل منها أية كمية إلى جوف الإنسان، أو تلامس جلده، كما ترتدى القفازات عند زراعة البذور المعاملة.

الأهداف التى تجرى لأجلها برامج التربية باستحداث الطفرات

لا يلجأ المربى إلى التربية باستحداث الطفرات إلاّ بعد استنفاذ كل الوسائل الأخرى الممكنة لتحسين المحصول. ويجرى برنامج التربية بالطفرات – عادة – لتحقيق واحد أو أكثر من الأهداف التالية:

١ – إحداث طفرات فى جين واحد، أو فى عدد محدود من الجينات:

يكون ذلك هو الهدف الأمثل، عندما يرغب المربى فى تحسين أحد الأصناف الجيدة فى إحدى الصفات المهمة التى تنقصه؛ خشية أن تؤدى التربية بالطرق الأخرى إلى فقدان الصنف بعض خصائصه التى تميزه عن غيره، وكثيرًا ما يفاضل المربى بين طريقتى التربية بالتلقيح الرجعى وبالطفرات، آخذًا فى الحسبان مدى سهولة إحداث الطفرة المرغوبة، ومدى ارتباطها بالطفرات الأخرى غير المرغوبة.

وتجدر الإشارة إلى أن التربية بالطفرات لاستحداث طفرة فى جين واحد .. هى الطريقة الوحيدة الممكنة لتحسين الأصناف المتازة من المحاصيل الخضرية التكاثر؛ نظرًا لأن اللجوء إلى التكاثر الجنسى عند تربيتها يعنى الابتعاد كثيرًا عن التركيب الوراثى للصنف. وعمليًا .. تعتبر التربية بالطفرات فى المحاصيل الخضرية التكاثر بديلة للتربية بطريقة التهجين الرجعى فى المحاصيل الجنسية التكاثر.

هذا .. وقد تستحدث الطفرات العاملية بغرض الاستفادة منها فى تحسين المحصول فى برامج التربية الأخرى.

٢ – تحسين الصفات الكمية:

على الرغم من أن الصفات الكمية يتحكم فيها عدة جينات .. إلاّ أنه أمكن إحراز تقدم كبير فيها بالتربية بالطفرات؛ فمثلاً .. تمكن Gregory فى عام ١٩٥٦ من إنتاج

طفرات من الفول السودانى بالمعاملة بأشعة إكس، وكانت هذه الطفـرات أعلـى محصـولاً من الصنف الأصلى (عن Briggs & Knowles ١٩٦٧).

٣ – إحداث زيادة فى نسبة العبور:

قد يكون الغـرض مـن تعريـض النباتـات للعوامـل المطفـرة – خاصـة الإشـعاع – هـو إحداث زيادة فى نسبة العبور، لإعطاء الفرصـة لحـدوث عبـور بـين الجينـات المرتبطـة بشدة وبين الجينات التى توجد فى المناطق القريبة من السنترومير، وهى التى تقل فيـها نسبة العبور الطبيعى. ويساعد العبور – فى هذه الحالات – على انعزال تراكيب وراثيـة جديدة، قد يرغب المربى فى الحصول عليها.

٤ – إحداث تحورات كروموسومية:

تحدث المعاملة بالعوامل المطفرة تحورات كروموسومية كثيرة يمكن الاستفادة بها فـى برامج التربية؛ فمثلاً .. أمكن – عن طريق إحداث كسـور كروموسومية فى أمـاكن معينـة من الـكروموسومات – نقل صفة المقاومة لصدأ الأوراق فى القمح من أحـد الأنـواع البريـة إلى القمح المزروع.

٥ – إحداث طفرات فى الجينـات السيتوبلازميـة التـى تتحكـم فـى الصفـات التـى تورث عن طريق الأم. ويذكر أنه حتى عام ١٩٧٢ أمكن إنتاج ٩٨ صنفًا محصوليًا، و ٤٧ صنفًا من نباتات الزينة من طفرات مسـتحدثة. ومـن الأصنـاف المحصوليـة .. أنتـج ٨٥ صنفًا منها بالانتخاب المباشر للطفـرات المسـتحدثة، بينمـا أنتجـت الثلاثـة عشـر صنفًـا الأخرى من برامج تربية تضمنـت تـهجينات بـين الطفـرات وأصنـاف – أو سـلالات – أخرى (Welsh ١٩٨١).

ويمكن القول إنه فى حالات عدم وجود الصفات المرغوبة فـى جـيرمبلازم المحصـول (المحلى والعالمى)، أو عندما لا يُرغب فى إحداث أى تغيير وراثـى فـى صنـف تجـارى هام (ولو بطريقة التهجين الرجعى) .. فإن التربيـة بـالطفرات تعـد هـى الطريقـة المثلـى لتحسين المحصول وإكسابه الصفات المطلوبة. ولا يعتد – فـى هـذا الشـأن – بانخفـاض معدل حدوث الطفرات، أو بزيادة نسبة الطفرات الضارة، فإن طفرة واحد مفيدة من كـل ألف طفرة يمكن أن تسهم فى تحسين المحصـول بشـكل جوهـرى، خـلال فـترة زمنيـة وجيزة، وبجـهد أقل مما فى طرق التربية الأخرى.

طرق المعاملة بالعوامل المطفرة

توجد أربع طرق رئيسية لمعاملة النباتات بالعوامل المطفرة هى:

أولا: معاملة حبوب اللقاح

تتميز طريقة معاملة حبوب اللقاح بسهولتها وإمكان التحكم فى العوامل البيئية المحيطة من رطوبة، وحرارة، وضغط جوى ... إلخ، كما تعامل كميات كبيرة من حبوب اللقاح فى حيز صغير. وتنفرد طريقة معاملة حبوب اللقاح بميزة أخرى، وهى أن الطفرات المحدثة فى حبة اللقاح تنتقل إلى كل خلايا الجنين الذى ينشأ منها (بعد إخصابها إحدى البويضات)، ثم إلى كل خلايا النبات الذى ينمو منه.

ثانياً: معاملة البذور

تتميز طريقة معاملة البذور – مثل الطريقة السابقة – بسهولتها وإمكان التحكم فى العوامل البيئية المحيطة، مع معاملة كميات كبيرة من البذور فى حيز صغير، إلا أن الطفرة إن حدثت فى إحدى خلايا الجنين فى البذرة .. فإنها لا تظهر إلا فى جزء من النبات الذى ينمو منها؛ فلا يكون النبات كله ذا تركيب وراثى واحد كما يحدث عند معاملة حبوب اللقاح.

وتختلف الجرعة المناسبة من الإشعاع لمعاملة البذور باختلاف النوع المحصولى، وأفضلها هى التى تؤدى إلى فقدان حيوية ٥٠٪ من البذور، وهى التى تعرف باسم Lethal Dose 50 (LD_{50}). وقد تحددت بالفعل الجرعة المناسبة من أشعة إكس بالنسبة لمعظم الأنواع المحصولية. ويراعى أن تكون البذور التى يراد معاملتها عالية الحيوية، وتحتوى على قدر مناسب من الرطوبة، ولا تكون رطوبتها شديدة الانخفاض أو عالية بدرجة كبيرة.

ثالثاً: معاملة الأجزاء الخضرية

تختلف الجرعة المناسبة لمعاملة الأجزاء الخضرية باختلاف النوع والصنف، وتزيد فى الأنسجة المتخشبة عما فى الأنسجة العشبية، وتتراوح الجرعة المناسبة غالبًا بين ٢٠٠٠، و ٤٠٠٠ رونتجن.

ويحسن أن تجرى المعاملة فى أولى مراحل تكوين البرعم، وأفضل وقت لذلك هو عندما يكون برعم المستقبل عبارة عن خلية واحدة. أما إن كان ذلك صعب التحقيق فتجب محاولة تطوير طرق جديدة لتشجيع تكوين براعم عرضية من الأجزاء المعاملة (IAEA ١٩٦٨).

ويفضل إجراء المعاملة على البادرات الصغيرة؛ لسهولة تداولها وإحضارها للمفاعلات فى أصص.

كما يعامل خشب الطعوم لأشجار الفاكهة أثناء الشتاء والربيع، ثم يطعم على الأصل المناسب. تبدو النموات الأولى التى تظهر من البراعم المعاملة طبيعية عادة، وتجب إزالة هذه النموات؛ لأن ذلك يزيد من فرصة ظهور الطفرات فى النموات الجديدة. ومع تكرار التقليم .. فإن خشب الطعم قد يستمر فى إنتاج نموات تظهر فيها طفرات جديدة، وغالبًا ما تكون معظم الطفرات المتكونة على شكل كيميرا محيطية.

هذا .. ولا يكون من اليسير معاملة الشجيرات والأشجار بالإشعاع؛ لصعوبة تداولها.

ولا تستخدم النظائر المشعة بكثرة فى إحداث الطفرات؛ نظرًا لصعوبة التخلص منها، وهى تفضل عند الرغبة فى إحداث الطفرات فى الأنسجة الداخلية للنبات، وذلك بتغذية النبات بأحد العناصر المشعة مثل الفوسفور المشع ^{32}P أو الكبريت المشع ^{35}S؛ حيث يمتصها النبات كما لو كانت عناصرها ثابتة، ويتحرك العنصر مع الماء المتص إلى الأنسجة الميرستيمية. وتنتقل هذه النظائر مع تيار الماء فى النبات كأيونات لهذه العناصر، ولكنها تتغير أثناء وجودها فى النبات – بسبب عدم ثباتها – إلى عناصر أخرى؛ فيتغير ^{32}P إلى كبريت، ويتغير ^{35}S إلى كلورين عندما تشع منها جزيئات بيتا.

وتجدر الإشارة إلى أفضلية معاملة النباتات المزهرة؛ لأن الانقسام الميوزى (الاختزالى) يكون أكثر حساسية للإشعاع من الانقسام الميتوزى.

هذا .. ولا تجب معاملة الأجزاء الخضرية المصابة بالفيروسات إلا عند الضرورة القصوى. ويلزم – فى هذه الحالة – التمييز بين أعراض الإصابة الفيروسية والطفرات التى يمكن أن تظهر نتيجة للمعاملة.

ولمزيد من التفاصيل عن برامج التربية بالطفرات فى الفاكهة والمحاصيل الحقلية التى تتكاثر خضريًّا .. يراجع IAEA (١٩٧٣).

رابعاً: معاملة مزارع الخلايا والأنسجة

تعامل مزارع الخلايا أو الأنسجة بالعامل المطفر، ثم تقيم المزرعة بعد المعاملة فى بيئات تسمح بالتعرف على الصفات المرغوبة، وتنمى الخلايا أو الأنسجة الحاملة للطفرة المرغوبة، إلى أن تصبح نباتات كاملة.

ويتميز استحداث الطفرات فى مزارع الأنسجة بما يلى:

١ – إمكان التحكم فى عديد من العوامل الضرورية لإجراء الانتخاب بدرجة أكبر مما فى النباتات العادية.

٢ – نظرًا لأن المزارع تكون فى صورة خلايا أو بروتوبلاست، فإن مشاكل الـ diplontinc selection تقل كثيرًا.

٣ – إذا ما تكونت نباتات المزارع من خلايا مفردة فإنه تقل كثيرًا حالات الطفرات الكيميرية.

٤ – يزداد معدل ظهور الطفرات لأن كل خلية بالمزرعة تكون على اتصال مباشر بالعامل المطفر.

٥ – يمكن إجراء الانتخاب بسهولة شديدة – سواء لما يتعلق بالعوامل الحيوية أو غير الحيوية – بإضافة عامل الشدّ المناسب إلى بيئة الزراعة التى تتعرض للعامل المطفر.

٦ – يمكن تقييم ملايين الخلايا (يمكن أن تعطى أى منها نباتًا جديدًا) فى طبق بترى واحد.

٧ – يُسهِّل استعمال عشائر الخلايا الأحادية العدد الكروموسومى التى يتحصل عليها من مزارع المتوك وحبوب اللقاح .. يُسهِّل ذلك عملية التعرف على الطفرات وتثبيتها، حتى ولو كانت متنحية (عن Chahal & Gosal ٢٠٠٠).

هذا .. ويتأثر إنتاج الطفرات فى مزارع الأنسجة والخلايا بعديد من العوامل، نذكر منها ما يلى:

١ – مصدر النباتات المستخدمة فى الزراعة (الـ explants).

٢ – التركيب الوراثى للنبات المستخدم.

٣ – بيئة الزراعة.

٤ – عمر المزرعة.

وللتفاصيل المتعلقة بهذا الموضوع .. يراجع Brar & Jain (١٩٩٨).

وأيًّا كانت طريقة المعاملة بالعوامل المطفرة .. فإنه تجب اتخاذ الاحتياطات اللازمة لمنع حدوث أى ضرر للقائمين بها.

العوامل المؤثرة فى فاعلية العوامل المطفرة

تتأثر مدى فاعلية العوامل المطفرة في إحداث الطفرات بالعوامل التالية:

١ – مستوى الأكسجين:

يؤثر مستوى الأكسجين في الجزء النباتي المعامل على مدى الضرر الذى يمكن أن يحدثه العامل المطفر له. فكلما ارتفع مستوى الأكسجين .. زادت الأضرار، وزادت معدلات التحورات الكروموسومية نسبة إلى الطفرات العاملية. ويمكن تقيل – أو تجنب – أضرار الأكسجين بمعاملة البذور، وهى مشبعة بالرطوبة، أو وهى فى حيز خال من الأكسجين. أما إذا رغب فى زيادة فاعلية وجود الأكسجين .. فإن المعاملة إما أن تجرى على البذور الجافة، وإما أن توضع البذور فى محاليل المركبات الكيميائية المطفرة، مع دفع فقاقيع الهواء بها.

٢ – المحتوى الرطوبى:

يرتبط تأثير المحتوى الرطوبى مباشرة بمستوى الأكسجين فى النسيج النباتى المعامل؛ إذ إن المحتوى الرطوبى المرتفع يصاحبه انخفاض فى مستوى الأكسجين، ويختلف مدى تأثير المحتوى الرطوبى باختلاف الأنواع النباتية، والعوامل المطفرة المستخدمة؛ فهو أكثر أهمية بالنسبة لأشعة إكس، وأشعة جاما منه بالنسبة للنيترونات السريعة.

٣ – درجة الحرارة:

ليس لدرجة الحرارة أهمية تذكر عند المعاملة بالإشعاع، ولكنها على درجة كبيرة من الأهمية بالنسبة للمعاملة بالمركبات الكيميائية المطفرة؛ حيث تؤثر فى الفترة الزمنية

اللازمة لحدوث التفاعل بين المركب والنسيج النباتي. ويطلق على الفترة الزمنية اللازمة لتفاعل نصف كمية المركب مع النسيج النباتي اسم نصف الحياة half-life. وتتراوح هذه المدة بالنسبة لمركب الـ EMS من ٧,٩ ساعة في حرارة ٤٠°م إلى ٧٩٦ ساعة في حرارة ٥°م، وتبلغ مدة نصف الحياة للمسترد الكبريتي sulfur mustard ثلاث دقائق فقط على حرارة ٣٧°م.

٥ – الظروف السابقة للمعاملة

يؤدى نقع البذور في الماء لفترة – قبل تعريضها للعوامل المطفرة – إلى زيادة نسبة رطوبتها، وفقدان بعض المركبات القابلة للذوبان في الماء، وبدء نشاط الإنبات وتمثيل الحامض النووى DNA. وكل هذه التغيرات تؤثر في معدل حدوث الطفرات. ويمكن زيادة رطوبة البذور دون أن تباشر في الإنبات بنقعها في الماء على درجة الصفر المئوى. ويراعى – في هذه الحالة – أن يكون الماء متحركًا حول البذور مع تغييره كل ١٥–٣٠ دقيقة.

٦ – الظروف التالية للمعاملة:

يجب ألا تخزن البذور المعاملة بالإشعاع لأكثر من أسابيع قليلة قبل زراعتها، ويفضل أن يكون تخزينها في وسط خالٍ من الأكسجين. وإذا كان من الضرورى تخزينها لفترات أطول من ذلك .. فيجب أن يكون التخزين على درجة الصفر المئوى.

أما في حالات المعاملة بالمركبات الكيميائية .. فإنه يراعى غسيل البذور بماء جارٍ لمدة ثماني ساعات، إذا رغب في تجفيف البذور وتخزينها قبل الزراعة، ولكن الأفضل هو غسيل البذور بالماء لفترة قصيرة، ثم زراعتها مباشرة.

٧ – الـ pH:

للـ pH أهمية كبيرة بالنسبة للمركبات الكيميائية المطفرة لأنه يؤثر في مدى الضرر الفسيولوجى، ومعدلات الطفرات العاملية والتحورات الكروموسومية التي يمكن أن يحدثها المركب. وتختلف المركبات في هذا الشأن؛ فبينما يستعمل مركب الـ EMS عند pH ٧ .. فإن أزايد الصوديوم sodium azide يكون أكثر فاعلية عند pH ٣. ويفضل – إذا استعملت المحاليل المنظمة – أن يستعمل منظم الفوسفات بتركيز لا يزيد على ٠,١ مولار.

الأمور التى تجب مراعاتها فى برامج التربية بالطفرات

تجب أن تتوفر لدى المربى رؤية واضحة بالنسبة للأمور التالية فى برامج التربية بالطفرات.

١ – اختيار الجيرمبلازم المناسب لمعاملته:

إذا كان المطلوب هو تحسين صنف جيد فى صفة مرغوبة تنقصه .. فإن أفضل جيرمبلازم للمعاملة هو ذلك الصنف. وإذا كانت الصفة التى يُراد تحسينها كمية .. فإن على المربى أن يقارن بين مستوى الصفة فى الصنف التجارى، ومستواها فى السلالات والأصناف الأخرى، حتى إن لم تكن تصلح للزراعة التجارية؛ فإذا كان مستوى الصفة المرغوبة أعلى فى سلالة غير مزروعة مما فى الصنف التجارى .. فإن فرصة تحسين مستوى الصفة إلى الدرجة المطلوبة بالطفرات تكون أكبر فى السلالة عما فى الصنف التجارى، ويقابل ذلك أن السلالة لن يمكن استخدامها فى الزراعة بعد اكتسابها الصفة، وإنما تستخدم كمصدر للصفة فى برنامج للتربية، بينما يستعمل الصنف التجارى فى الزراعة مباشرة بعد اكتسابه الصفة بالطفرات.

٢ – اختيار مصدر البذور المناسب:

تجب العناية باختيار البذور من أفضل المصادر الموثوق بها، لكى تمثل الصنف تمثيلاً صادقًا. وأفضل البذور لهذا الغرض هى بذور الأساس Foundation Seed، أو حتى بذور المربى Breeder Seed إن أمكن؛ لتجنب وجود أية نباتات مخالفة للصنف يمكن أن تعتبر – خطأ – طفرات مستحدثة.

٣ – اختيار العامل المطفر والجرعة المناسبة:

يلزم – إن لم تتوفر معلومات كافية عن أنسب العوامل المطفرة والجرعة المناسبة منها – أن تتم المعاملة بأكثر من عامل مطفر، وبعدة جرعات من كل منها. كما تجب زراعة نباتات المقارنة بعد معاملة بذورها بالطريقة ذاتها، ولكن دون التعرض للعامل المطفر.

٤ – اختيار عدد البذور المناسب للمعاملة:

يتوقف عدد البذور المناسب التى تجب معاملتها على حيوية البذور بعد المعاملة، وعدد النباتات والأنسال التى يمكن تقيميها فى الجيل الطفرى الثانى، ومعدل حدوث

الطفرات فى الصفات المرغوب فيها، ومدى سهولة تقييم هذه الصفات. ومن الطبيعى أن عدد البذور التى تجب معاملتها يزيد عند نقص حيوية البذور المعاملة بدرجة كبيرة، وعندما يقل معدل حدوث الطفرات فى الصفات المرغوبة.

٥ – تحديد طريقة التلقيح المناسبة لإنتاج بذور الجيل الطفرى الثانى:

بينما تترك نباتات الجيل الأول من النباتات الذاتية التلقيح على طبيعتها لإنتاج بذور الجيل الطفرى الثانى، فإن النباتات الخلطية التلقيح إما أن تلقح ذاتيًا يدويًا، وإما أن تترك للتلقيح الخلطى فيما بينها، ولكن يلزم فى هذه الحالة تأمين مسافة عزل كافية بين حقل نباتات الجيل الطفرى الأول، وأية حقول أخرى من النوع نفسه؛ لمنع التلقيح الخلطى الخارجى.

برنامج التربية بالطفرات

الحجم المناسب للعشيرة فى كل من الجيلين الطفريين الأول والثانى

يلزم لأجل تأمين الحصول على النوع المرغوب فيه من الطفرات ألاّ تقل عشيرة الـ M_1 عن حجم معين، علمًا بأن زيادة عدد النباتات فى الـ M_2 لا يعوض النقص الحادث فى الـ M_1. ويتوقف الحجم الأمثل لعشيرة الـ M_1 على طبيعة وراثة الجين أو الجينات المسئولة عن الصفات المرغوب فيها، ومعدل حدوث الطفرات. فمثلاً .. يلزم لتأمين ظهور الطفرات المرغوب فيها عددًا أكبر من نباتات الـ M_1، عندما يتحكم فى الصفة المطلوبة زوجان أو ثلاثة أزواج من الجينات، عما يكون عليه الحال عندما تكون الصفة بسيطة ويتحكم فيها زوج واحد من الجينات. وبالمقارنة .. عندما تكون الصفة كمية ويتحكم فيها عديد من الجينات – حيث يكون المطلوب هو زيادة الاختلافات الوراثية – فإن عشيرة الـ M_1 يمكن أن تكون أصغر حجمًا لأن عدد المواقع التى يمكن أن يحدث عند أى منها تغير وراثى فعال يكون كبيرًا.

وقد اقترحت معادلة لتقدير عدد عائلات الـ M_2 التى يلزم تقييمها لتأمين عزل الطفرات المرغوب فيها، التى تظهر بمعدلات مختلفة، وهى كما يلى:

$$n = \log(1-P_1)/\log(1-\mu)$$

حيث إن :

n = عدد عائـلات الـ M_2.

μ = معدل حدوث الطفرة.

P_1 = احتمال ظهور طفرة واحدة على الأقل.

ويبين جدول (١٠-٢) أعداد عائلات الـ M_2 التى يتعين فحصها فى حالات مختلفة لكل من μ، و P_1.

جدول (١٠-٢): عدد عائلات الـ M_2 التى يتعين فحصها عند اختلاف كل من معدل حـــدوث الطفرة واحتمالات حدوثها.

معدل حدوث الطفرة (μ)	عدد عائلات الـ M_2 (n)		أنواع الطفرات
	٠,٩٠ = P_1	٠,٩٩ = P_1	
١ × ١٠^٢	٢٣٣	٤٦٥	التغيرات الكروموسومية والاختلافات الكمية
١ × ١٠^٣	٢٣٢٦	٤٦٥٢	عديد من الجينات المتنحية
١ × ١٠^٤	٢٣٢٦٠	٤٦٥٢٠	جين واحد متنح
١ × ١٠^٥	٢٣٢٦٠٠	٤٦٥٢٠٠	جين واحد سائد

ويحسب عدد نباتات الـ M_2 لكل عائلة M_2 بالمعادلة التالية :

$$m = \log(1-P_2)/\log(1-a)$$

حيث إن :

m = عدد نباتات الـ M_2/عائلة.

a = نسبة انعزال الطفرة.

P_2 = احتمال ظهور طفرة واحدة أصيلة على الأقل.

هذا .. علمًا بأن نسبة انعزال طفرة بسيطة متنحية فى الـــ M_2 هـى ١/٤ عنـد معاملـة جاميطة أحادية (حبة لقاح) بالعامل المطفر. أما عنـد معاملـة البـذور فـإن نسـبة انعـزال الطفرة تختلف عن ذلك نظرًا لأن أكثر من خلية بالجنين المعامل تسهم فى إنتاج الجيــل التالى.

ويبين جدول (١٠-٣) أحجام عائلات الـ M_2 التى يتعين تقييمها فى حالات الانعزال المختلفة.

جدول (١٠-٣): أحجام عائلات الـ M2 لحالات الانعزال المختلفة ومستويات احتمال ظهور الطفرات الأصيلة.

نسبة الانعزال (a)	حجم عائلة الـ M_2 (m)	
	$P_2 = ٠,٩$	$P_2 = ٠,٩٩$
١/٤	٨,٠	١٦,٠
١/٨	١٧,٢	٣٤,٥
١/١٢	٢٦,٣	٥٢,٦
١/١٦	٣٥,٧	٧١,٤
١/٢٠	٤٥,٥	٩١,٠

ويمكن بالاستعانة بالمعادلتين السابقتين لكل من n، و m حساب حجم عشيرة الـ M_2 التى تلزم لعزل طفرة من نوع معين بدرجة معينة من الاحتمال. فمثلاً .. عندما تكون الطفرة بسيطة متنحية ومعدل حدوثها ١ × ١٠^-٣ فإن عشيرة الـ M_2 التى يلزم فحصها تكون حوالى ٥٠٠٠٠ نبات، وإذا كان معدل حدوث تلك الطفرة ١ × ١٠^-٥ فإن عشيرة الـ M_2 تصبح ٥ مليون نبات. وعلى الرغم من أن متطلبات زراعة وفحص تلك الأعداد الكبيرة من النباتات تؤدى إلى اكتفاء المربى بعدد أقل بكثير من ذلك، فإنه لا بديل من زراعة العدد المقدر بالمعادلات لتأمين ظهور الطفرات المرغوب فيها بدرجات الاحتمال المقبولة (عن Chopra ٢٠٠٠).

تداول أجيال التربية

يعطى الجيل الأول الذى ينتج من زراعة بذور سبقت معاملتها أو معاملة حبوب اللقاح التى استخدمت فى إنتاجها الرمز M_1 (نسبة إلى كلمة mutation أى طفرة)، وتعطى الأجيال التالية الرموز M_2، و M_3 ... إلخ، كما يفضل البعض استعمال الرموز: R_1، و R_2، و R_3 ... إلخ (نسبة إلى كلمة radiation أى إشعاع). وقد تستعمل الرموز X_1، و X_2، و X_3 ... إلخ عند استعمال أشعة إكس فى إحداث الطفرات، كما تستخدم

الرموز نفسها كذلك فى حالات معاملة الأجزاء الخضرية، مع الإكثار الخضرى للنباتات الناتجة، رغم أن نباتات الـ M_2 أو الـ M_3 لا تختلف وراثيًا – فى حالات الإكثار الخضرى – عن نباتات الـ M_1.

تزرع البذور أو الأجزاء النباتية المعاملة بالعامل المطفر فى الحقل مباشرة.

وبالنسبة للبذور التى تكون محتوية بالفعل على عديد من مبادئ القمم النامية primordia وقت المعاملة – كما فى القمح والشعير – فإنه يوصى بزراعتها بكثافة عالية للحد من تكوين الخلفات؛ لأن معدل حدوث الطفرات يكون أعلى فى النمو الرئيسى عما فى النموات التى تكوّن الخلفات.

وفى الدراسات التى يكون الهدف منها التعرف على معدل حدوث الطفرات. فإن الجيرمبلازم المستعمل يجب أن يكون على درجة عالية من النقاوة الوراثية.

ومن الأهمية بمكان التحكم فى التلقيح فى نباتات الـ M_1 لمنع حدوث التلقيحات الخلطية. وتشكل النباتات وحيدة الجنس وحيدة المسكن – مثل الذرة والخيار – حالات خاصة نظرًا لأن النورات أو الأزهار المذكرة والمؤنثة تظهر بالتتابع وتتكون من أنسجة مختلفة؛ ولذا .. فإنها قد لا تشترك فى نفس الطفرات، وحتى إذا ما لقحت ذاتيًا فإنها سوف تعطى تراكيب وراثية خليطة. وقد اقترح لمثل تلك الحالات ترك نباتات الـ M_1 للتلقيح فيما بينها وإجراء التلقيح الذاتى على نباتات الـ M_2، ثم رصد الطفرات فى الـ M_3.

تحصد نباتات الـ M_1 منفردة، وعند وجود خلفات – كما فى القمح والشعير – تحصد كل خلفة مستقلة ويسجل تتابع ظهورها؛ لأجل مقارنة معدل حدوث الطفرات فى مختلف الخلفات حسب تدرج ظهورها. أما فى حالة النباتات وحيدة الجنس وحيدة المسكن فإن نباتات الـ M_1 تحصد جميعها معًا (عن Chopra ٢٠٠٠).

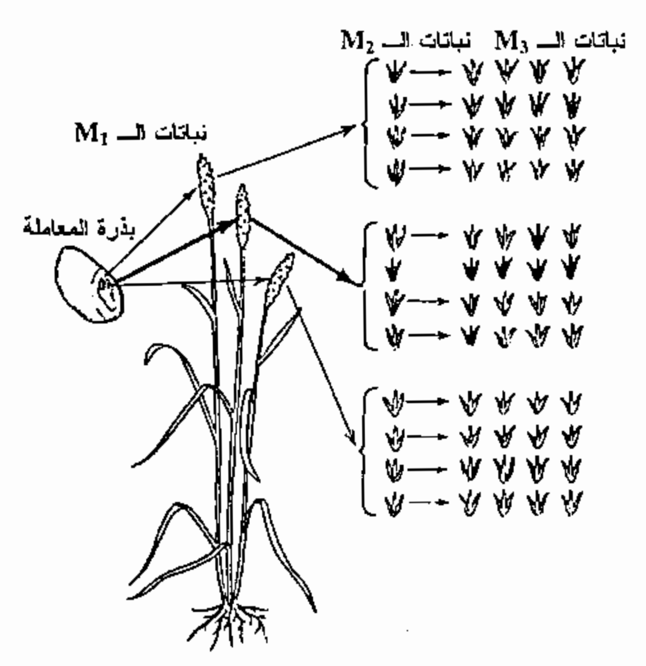
نادرًا ما تظهر أية طفرات على نباتات الجيل الطفرى الأول (M1)؛ لأن معظم الطفرات تكون متنحية، بينما تظهر على نباتات هذا الجيل التغيرات الفسولوجية التى لا تورث (ويراعى – مع ذلك – انتخاب نباتات الجيل الطفرى الأول التى يشتبه فى أن بها طفرات). تلقح جميع نباتات الـ M_1 ذاتيًا، أو يجرى التلقيح فيما بينها فى حالات العقم أو عدم التوافق الذاتى.

وأيًا كانت الطريقة التى اتبعت فى المعاملة بالعامل المطفر .. فإنه لا بد من زراعة نباتات غير معاملة من نفس الصنف للمقارنة؛ لأن تلك هى الوسيلة الوحيدة الممكنة للتمييز بين الطفرات الحقيقية والاختلافات الوراثية الطبيعية، التى قد توجد فى الصنف، وتستمر زراعة نباتات المقارنة فى الأجيال الطفرية التالية كذلك.

يبدأ الانتخاب فى الجيل الثانى M_2؛ لأن ذلك هو الجيل الذى تنعزل فيه الطفرات المتنحية بحالة أصيلة فى حالة التكاثر الجنسى، ولأنه يكون الجيل الذى يختفى فيه التأثير الفسيولوجى للمعاملة بالعوامل المطفرة أيًا كانت طريقة تكاثر المحصول. وتزرع نباتات الجيل الطفرى الثانى على مسافات واسعة، حتى يمكن دراسة كل منها على انفراد، مع زراعة نحو ١٠-١٢ نباتًا من كل نسل فى خط مستقل. ويكفى هذا العدد للعثور على نبات واحد – على الأقل – أصيل متنح فى الطفرة. لكن نظرًا لأن نسبة بسيطة للغاية من نباتات الجيل الطفرى الأول هى التى تحدث بها الطفرات؛ لذا .. تجب زراعة عدة آلاف من الأنسال فى الجيل الطفرى الثانى؛ لإعطاء الفرصة لظهور الطفرات إن وجدت. وإذا تعارض ذلك مع الإمكانات المتاحة .. فإنه تفضل زراعة ٣ بذور M_2 من كل ١٠٠٠ نبات M_1 عن زراعة أعداد كبيرة من بذور الـ M_2 من كل من عدد محدود من نباتات الـ M_1، وتنتخب النباتات المرغوبة فقط، وتلقح ذاتيًا لإنتاج بذور الجيل الطفرى الثالث M_3، وتستبعد جميع النباتات التى يكون نموها طبيعيًا. وإذا كان المطلوب هو العثور على طفرة فى جين واحد فقط بأحد الأصناف المرغوبة .. فإنه تلزم زراعة ١٠٠٠٠ نسل M_2 على الأقل؛ لأن معدل ظهور الطفرة المرغوبة فى غياب الطفرات الأخرى غير المرغوبة يكون منخفضًا للغاية.

ويبين شكل (١٠-٢) الكيفية التى تظهر بها الطفرات المتنحية بحالة أصيلة فى الجيلين الطفريين الثانى والثالث، وذلك عند محاولة استحداث الطفرات فى حبوب القمح. ففى هذا المثال أدت معاملة حبوب القمح بأحد العوامل إلى استحداث طفرة متنحية فى إحدى الخلايا الميرستيمية بجنين البذرة، وقد نمت خلفة من تلك الخلية، كانت خليطة فى جين الطفرة. وفى النسل الناتج من التلقيح الذاتى لهذه الخلفة (M_2) .. ظهر نبات واحد من بين أربعة نباتات حاملاً للطفرة بحالة أصيلة، وقد أعطت جميع البذور الناتجة من التلقيح الذاتى لهذا النبات نباتات طفرية متنحية أصيلة فى الجيل التالى (الجيل الطفرى الثالث M_3). يلاحظ أن نباتين آخرين من نفس النسل

الذى ظهرت فيه الطفرة بحالة أصيلة فى الـ M_2 كانا خليطين فى جـين الطفـرة؛ الأمـر الذى ظهر جليًّا فى نسلهما فى الـ M_3. هذا .. وقد مُيزت النباتات الطفرية فـى الشـكل باللون الأسود.



شكل (١٠–٢): طريقة التعرف على الطفرات المتنحية فى الجيلين الطفريين الثانى والثالث. يراجـع المتن للتفاصيل (عن Poehlman & Sleper ١٩٩٥).

يقتصر برنامج التربية بعد ذلك على تقييم الطفرات التـى أمكـن اسـتحداثها؛ فـتزرع عدة خطوط من كل طفرة فى الجيل الطفرى الثالث M_3، وتقارن الطفرات المرغوبـة منـها مع الأصناف التجارية المهمة فى تجارب صغيرة بمكـررات فـى الجيـل الطفـرى الرابـع M_4، والخامس M_5. وتقارن الطفرات المتمـيزة منـها فـى تجـارب موسـعة فـى الجيلـين الطفريين السادس M_6 والسابع M_7.

وعمومًا .. فإن تداول النباتات ابتداء من الجيل الطفرى الثانى يكون بإحدى أربع طرق هى:

١ – انتخاب النسب.

٢ – انتخاب التجميع.

٣ – التحدر من بذرة واحدة.
٤ – اختبار الأجيال المبكرة.

هذا .. وقد تكثر الطفرة المتنحية، وتستعمل كصنف جديد مباشرة، أو تستخدم كسلالات تربية فى برامج أخرى لتربية المحصول، إن لم تكن صالحة للاستعمال كصنف جديد. ولمزيد من التفاصيل عن هذا الموضوع .. يراجع Fehr (١٩٨٧).

خطوات برنامج للتربية بالطفرات فى النباتات الذاتية التلقيح

تكون خطوات برنامج التربية بالطفرات فى النباتات الذاتية التلقيح كما هو موضح فى جدول (١٠–٤) (عن Chahal & Gosal ٢٠٠٢).

استحداث الطفرات فى النباتات الخضرية التكاثر

نظرًا لصعوبة اختراق المركبات الكيميائية للأجزاء النباتية الخضرية، فإن معاملتها بالإشعاع تكون أفضل من معاملتها بالمركبات المطفرة. وإذا ما رُغب فى إجراء المعاملة بالمركبات الكيميائية فإنه يفضل إذابتها فى مركب يسمح بسرعة اختراقها للأنسجة النباتية، مثل الـ dimethyl sulphoxide.

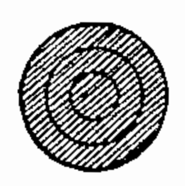
وأنسب الجرعات هى التى تكون قريبة من الـ LD_{50} أو الـ GR_{50}.

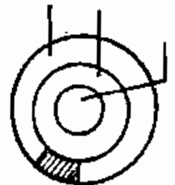
ونظرًا لأن البراعم التى تتعرض لمعاملة الإشعاع تتكون من عديد من الخلايا .. فإن الطفرات التى تستحدث تكون دائمًا على صورة قطاعات sectors. وتحت تلك الظروف تلعب قوى الـ diplontic selection دورًا كبيرًا فى احتمالات اكتشاف تلك الطفرات وملاحظتها من عدمه.

وإنه لمن المعروف والمتفق عليه حاليًّا أن القمة النامية الخضرية، والبراعم العادية والعرضية يتكون كل منها من ثلاث طبقات مستقلة تأخذ الرموز L-I، و L-II، و L-III (شكل ١٠–٣)، وهى التى يشار إليها – كذلك – باسم الـ histogenic layers. وتلك الطبقات هى التى تعطى فى نهاية المطاف النمو الخضرى المتميز بما يحمله من أوراق وبراعم إبطية.

جدول (١٠-٤): خطوات برنامج التربية باستحداث الطفرات في النباتات الذاتية التلقيح.

السنة	الجيل	العملية
الأولى	-	● تعامل البذور (> ٥٠٠ بذرة) بالعامل المطفر المناسب.
الثانية	M_1	● تزرع البذور العاملة على مسافات واسعة في معزل، علمًا بأن بعض النباتات قد تكون كيميرية، حيث تظهر فيها الطفرات على أحد الخلفات أو بعضها فقط. ● يمكن ملاحظة الطفرات السائدة. ● نظرًا لتوقع اختلافات نباتات الـ M_1 فيما قد تحمله من طفرات؛ لذا .. يتعين حصاد بذور كل نبات مستقلة عن بذور النباتات الأخرى، وبمعدل حوالى ٢٠ بذرة/نبات.
الثالثة	M_2	● يزرع نسل كل نبات في خط مستقل. ● تحدد الخطوط التي تظهر بها الطفرات، وتنتخب الطفرات المرغوب فيها. ● قد لا يمكن ملاحظة الطفرات الخاصة بالصفات الكمية؛ ولذا .. يتعين انتخاب النباتات الطبيعية الخصبة القوية النمو الحاملة لكل صفة. ● تحصد بذور النباتات المنتخبة مستقلة.
الرابعة	M_3	● يزرع نسل كل نبات منتخب في خط مستقل. ● تنتخب الطفرات والسلالات المتجانسة، والتي قد يمكن حصاد بذورها معًا إن كانت السلالات متجانسة. ● يجرى انتخاب للنباتات الفردية التي تحمل طفرات مرغوب فيها والتي قد تظهر في السلالات غير المتجانسة، مع حصاد بذور تلك النباتات مستقلة.
الخامسة	M_4	● تقيم السلالات المتشابهة المجمعة معًا، وكذلك السلالات الفردية تقييمًا أوليًا لأجل انتخاب أفضل السلالات لمزيد من التقييم. ● تستبعد – عادة – السلالات التي تظهر فيها انعزالات.
السادسة إلى التاسعة	M_5-M_8	● يستمر تقييم السلالات الثابتة في عدة مواقع
العاشرة	M_9	● تكثر البذور وتنشر زراعتها كصنف جديد.





طفرة فى كل النسيج

طفرة قطاعية (sectorial)

طفرة محيطية periclinal (ظهرت فى الـ L_1)

طفرة ناقصة mericlinal (ظهرت جزئيًا فى الـ L_1)

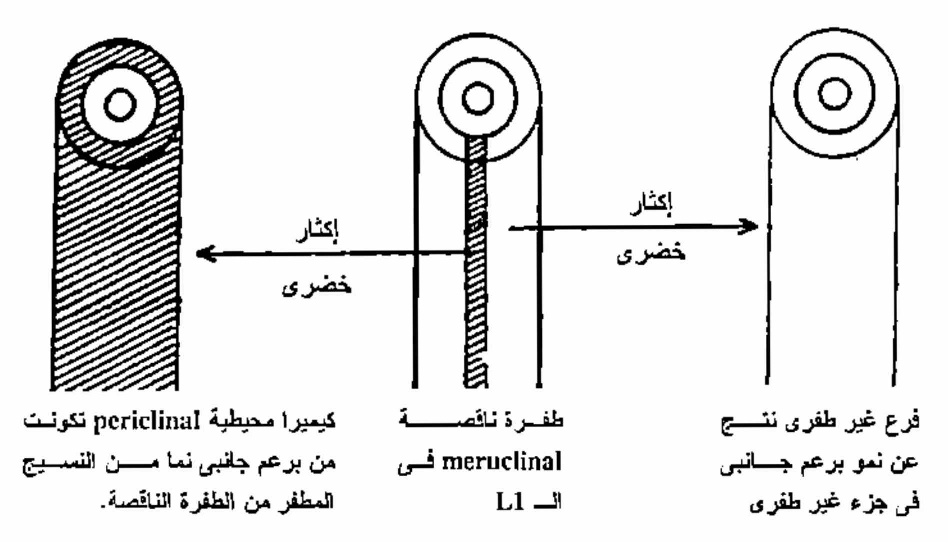
شكل (١٠-٣): أنواع الطفرات التى قد تظهر فى قطاع عرضى بالقمة النامية لنبات خضرى التكاثر.

وبعد التعرض للمعاملة بالعامل المطفر فإن أى خلية أو مجموعة من الخلايا فى أى من الطبقات الـ histogenic الثلاث يمكن أن تحدث بها طفرات. هذا إلاّ أن لموقع الخلايا الطافرة أهمية كبيرة بالنسبة لما تنتهى إليه تلك الطفرة. فإذا ما انتهت الخلايا الطافرة وتلك التى تنتج عن انقسامها إلى تكوين ورقة، فإنه يكون غالبًا من الصعب اكتشاف تلك الطفرة. أما إذا ما أسهمت تلك الخلية الطافرة والخلايا التى تنتج عن انقسامها إلى تكوين أحد الفروع (شكل ١٠-٤) ونتج عنها تكوين كيميرا ناقصة mericlinal chimera (شكل ١٠-٤)، فإنه يمكن زيادة فرصة تكوين فرع طافر يحمل براعم إبطية طافرة إما بتكرار التقصير القمى فى حالة النباتات الخشبية، وإما بزراعة أجيال متتالية كما فى حالة الدرنات (عن Chopra ٢٠٠٠).

استحداث الطفرات فى مزارع الأنسجة والخلايا

يمكن بالاستعانة بتقنيات بعض مزارع الأنسجة والخلايا، مثل: مزارع المتوك، والأجنة الجنسية، ودمج البروتوبلاست التغلب على بعض محددات التربية بالطفرات فى كل من النباتات الجنسية التكاثر والخضرية التكاثر. كما يمكن عن طريق مزارع الأنسجة مع التربية بالطفرات إسراع برامج التربية بداية من إحداث التغيرات الوراثية، ومرورًا بالانتخاب، وانتهاء بإكثار التراكيب الوراثية المرغوب فيها.

كذلك يمكن بالحصول على الطفرات المتنحية فى حالة أصيلة - من خلال مزارع المتوك أو مزارع المبايض - إسراع عملية التعرف على الصفات المرغوب فيها (عن Maluszynski وآخرين ١٩٩٥، و Ahlowalia & Maluszynski ٢٠٠١).



شكل (١٠–٤): كيفية ظهور الطفرات – من عدمه – عند الإكثار الخضـرى بكيمـيرا ناقصـة mericlinal chimera.

العوامل المتحكمة فى عدم ظهور بعض حالات الطفرات المستحدثة

قد لا تظهر الطفرات التى حدثت بالفعل لأى سبب من الأسباب التالية:

١ – قد يحدث ترميم أو تصليح repair إنزيمى لجزء الدنا الذى حدثت فيه الطفـرة، بحيث يعود إلى حالته الطبيعية قبل أن يمكن اكتشافها.

٢ – قد يكون الجزء النباتى الذى حدثت فيه الطفرة ضعيفًا وغير قادر علـى منافسـة الأجـزاء العادية من النبات إلى درجة أنه لا يُسهم فى إنتاج الجاميطات للجيـل التـالى، وتعرف تلك الظاهرة باسم diplontic selection.

٣ – إذا حـدث ذلـك التنـافس علـى المستوى الجـاميطى (بسـبب ضعـف إنبـات الجاميطـات المطفـرة أو لأى ضعـف فسـيولوجى فـى أدائـها)، فـإن ذلـك يعـرف باسـم haplontic selection.

٤ – قد لا تظهر الطفرة المنتظرة ولا يمكن التعـرف عليـها إن لم تتوفـر لهـا الظـروف البيئية التى تلزم لاكتشافها، مثل الظروف البيئية القاسية أو ظروف الإصابـات المرضيـة أو الحشرية ... إلخ عندما يكون الهدف هو استحداث طفرات متحملة لتلك الظـروف أو مقاومة لتلك الأمراض أو الآفات.

ويمكن عن طريق معاملة البراعم العرضية تجنب قوى الـ diplontic selection، وهى تقنية تأخذ فى الاعتبار أن البراعم العرضية التى تتكون عند قاعدة أعناق الأوراق المفصولة تنشأ من خلية واحدة أو مجموعة قليلة من خلايا البشرة، علمًا بأن عدد الأنواع النباتية التى يمكن إكثارها بواسطة النبتات الصغيرة العرضية التى تنشأ على الأوراق المفصولة يزيد عن ٣٥٠ نوعًا. هذا إلا أن نجاح تلك الطريقة يتأثر بعمر الورقة والجزء المستخدم فيها وبيئة الزراعة والظروف البيئية (عن Chopra ٢٠٠٠).

أمثلة لبعض إنجازات التربية باستحداث الطفرات

كان إنتاج أول الأصناف الجديدة باستحداث الطفرات بعد أربع سنوات فقط من نشر Stadler لأبحاثه فى هذا الموضوع. ولقد أمكن حتى عام ٢٠٠٠ إنتاج أكثر من ١٨٠٠ صنف جديد بطريقة استحداث الطفرات شملت ١٥٤ نوعًا نباتيًا، وتضمنت عديد من المحاصيل الاقتصادية الهامة، مثل: القمح، والشعير، والقطن.

وقد كان توزيع الأصناف المطفرة - حسب المحصول - كما يلى (عن Chopra ٢٠٠٠):

المحصول	العدد
الأرز	٣٢٢
الشعير	٢٤٨
القمح (bread)	١٤٠
القمح (durum)	٢٥
الذرة	٤٧
نجيليات أخرى	٥٤
البقوليات	٢٠٦
المحاصيل الصناعية	٦٠
المحاصيل الزيتية	٥٤
الخضر	٥١
محاصيل أخرى	٧٩

وبينما خضعت بعض الطفرات لبرامج تربيــة بالتـهجين والانتخـاب قبـل اسـتعمالها كأصناف جديدة، فإن كثـيرًا منها اسـتعملت مباشرة كأصناف جديـدة (Ahloowalia & Maluszynski ٢٠٠١).

ويمكن إيجاز أبرز إنجازات التربية باستحداث الطفرات، فيما يلى:

● شهدت زراعة الأرز تطورًا كبيرًا بعد إدخال الأصنـاف الطفريـة شـبه المتقزمـة فـى الزراعة، وهى التى تسمح بزيادة معدلات التسميد الآزوتى دون التعرض لمشـكلة الرقـاد. ومن أهم تلك الأصناف: Calrose 76 فــى كاليفورنيـا، و Basmati 370 فـى باكسـتان، وسـلسلة أصناف PNR فــى الهنـد، و Zhefu 802 فـى الصـين، و RD6، و RD15 فـى تايلاند. كما سمحت طفرات الأرز المتنحية غير الحساسة للفـترة الضوئيـة بإنتـاج هجـن الأرز بالاعتماد على سـلالتين فقط بدلاً من ثلاث.

ويبين جدول (١٠-٥) بعضًا من أهم الصفات النباتية الأخرى التى أمكن اسـتحداثها بالطفرات فى أصناف الأرز المزروعة.

جدول (١٠-٥): الصفات النباتية التى أمكن تحسـينها باسـتحداث الطفـرات فـى أصناف الأرز المزروعة (عن Maluszynski وآخرين ١٩٩٥).

الصفة	عدد الأصناف الطفرية
شبه التقزم semidwarfness	١٢٦
التبكير	١١٠
تكوين الخلفات tellering	٢٤
زيادة الطول tallness	٢٣
نوعية الحبوب	١٦
تحمل العصفة blast tolerance	١٤
التأقلم	١٢
الإندوسبرم الجلوتينى glutinous endospem	١٢
تحمل الملوحة	٩
تحمل البرودة	٦
عدم الحساسية للفترة الضوئية	٥
التأخير	٢

- حُصل فى النباتات الخضرية التكاثر على كثير من الطفرات بمعاملة العقل الساقية، والأوراق، والنباتات الساكنة. وتبعًا لإحصائيات منظمة الأغذية والزراعة التابعة للأمم المتحدة فإنه من بين ٤٦٥ طفرة حُصل عليها فى نباتات خضرية التكاثر، فإن غالبيتها كانت من الزهور ونباتات الزينة؛ بينما كان القليل منها من الفاكهة.

- أصبح استحداث الطفرات أحد أهم وسائل التربية فى بعض نباتات الزينة، مثل الألستروميريا ulstromeria، والبيجونيا begonia، والأقحوان chrysanthemum، والبوجاينفيللا bougainvillea، والورد rose، والأزاليا azalea، والقرنفل carnation، والداليا dahlia، والاستربتوكاربس streptocarpus.

- أنتجت طفرات من بسلة الزهور *Lathyrus sativus* تنخفض نسبة الـ neurotoxins فى بذورها إلى ٠,٠٣٪، مقارنة بنسبة ٠,٣٪ فى الأصناف العادية؛ الأمر الذى يجعلها صالحة للاستهلاك الآدمى، علمًا بأن هذا النبات ينمو جيدًا فى ظروف الجفاف والظروف الجوية القاسية. كما أن الطفرة أبكر وأكثر محصولاً من الصنف الأصلى.

- إن من بين أهم إنجازات التربية بالطفرات تطوير محصول جديد تمامًا، مثلما حدث بالطفرتين اللتان حولتا الكتان *Linum usitatissimum* من محصول لا يصلح الزيت المستخرج من بذوره للاستهلاك الآدمى إلى أحد محاصيل الزيوت الهامة (اللينولا linola) الذى تقوم عليه صناعات كبيرة. أثرت الطفرتان فى مسارات تمثيل الأحماض الدهنية، وأحدثتا نقصًا كبيرًا فى محتوى الزيت من حامض اللينوليك linoleic acid؛ وبذا.. تحول الزيت الذى كان سريع التزنخ ولا يصلح إلا للأغراض الصناعية إلى زيت يقارن بزيوت دوار الشمس والكانولا (عن Larkin ١٩٩٨).

- أمكن عن طريق إشعاع مزارع الأنسجة فى نخيل البلح، والتفاح، والبطاطس، والبطاطا والأناناس الحصول على طفرات من تلك المحاصيل لم يكن من الممكن الحصول عليها من قبل.

ومن بين الطفرات التى نتجت من مزارع الأنسجة طماطم ذات مواصفات مختلفة فى اللون والطعم والقوام والقدرة على التخزين، وذرة مقاوم لمبيد الحشائش imidazole،

وطفرة حشيشة برمودا *cyanodon dactylon* ذات مقاومة عالية للـ fall armyworm (عن Larkin ١٩٩٨).

ولقد أمكن عن طريق استحداث الطفرات فى مزارع الأنسجة الحصول علـى عديد من التغيرات الوراثية الهامة كما يلـى (عـن Maluszynski وآخريـن ١٩٩٥):

المحصول	الطفرات المستحدثة
بسلة الزهور	تحمل البرودة
التبغ	تحمل اللوحة، ومقاومة البكتيريا *Pseudomonas syringae* وتحمل مبيدا الحشائش بكلورام picloram، وباراكوات paraquat
الفلفل	تحمل اللوحة
البرسيم الحجازى	تحمل اللوحة
القمح	تحمل الصقيع
الذرة	مقاومة فطر الـ *Helminthosporium*
لفت الزيت	مقاومة الفطر *Phoma lingam*
البطاطس	مقاومة الفطر *Phytophthora infestans*
بنجر السكر	مقاومة الفطر *Helminthosporium sacchari*
الأرز	زيادة الحامض الأمينى ليسين

● إن الطفرات التى أمكن الحصول عليها من نبات الـ *Arabidopsis* تستعمل حاليًا فى دراسة الجينات التى تتحكم فى الاستجابة للأوكسينات، والسيتوكينينات، وحامض الجبرلليك، وحامض الأبسيسك، والإثيليـن، فيما يتعلق بالنمو النباتى، والإزهار، والشيخوخة، وتكوين الثمار ونضجها. كما تسمح تلك الطفرات بعزل الجينات ودراستها ونقلها، الأمر الذى يساعد فى إسراع تربية النباتات لمختلف الأغراض (عن Ahloowalia & Maluszynski ٢٠٠١).

الفصل الحادى عشر

التعدد الكروموسومى غير التام وأهميته

حالات التضاعف الكروموسومى

نتناول بالشرح تحت هذا العنوان العلاقة بين موضوع هذا الفصل (حالات التعدد الكروموسومى غير التام وأهميتها)، وموضوع الفصل الثانى عشر (حالات التضاعف الذاتى وأهميتها)، والفصل الثالث عشر (حالات التضاعف الهجينى وأهميتها)؛ علمًا بأنها جميعًا تدخل ضمن الموضوع العام: التضاعف الكروموسومى وأهميته لمربى النبات.

العدد الأساسى للكروموسومات

العدد الأساسى للكروموسومات basic number chromosomes فى أى كائن حى هو عدد الكروموسومات الكاملة غير المتكررة فى ذلك الكائن، وهى التى تشكل ما يعرف بالهيئة الكروموسومية genome.

وتسمى جميع النباتات التى تحتوى على ضعف العدد الأساسى للكروموسومات بأنها ثنائية الهيئة الكروموسومية diploid. ويرمز لكل هيئة كروموسومية بالرمز س (أو X)؛ وبذا .. فإن النباتات الثنائية تكون ٢س. هذا .. بينما تحتوى كثير من النباتات على عدد من الكروموسومات يختلف عن ضعف العدد الأساسى؛ فقد تحتوى على أربعة أضعاف، أو ستة أضعاف العدد الأساسى للكروموسومات؛ أى تحتوى على أربع (٤س) أو ست (٦س) هيئات كروموسومية كاملة على التوالى. وتعرف هذه النباتات بأنها متضاعفة.

وسواء أكان النبات متضاعفًا، أم غير متضاعف .. فإنه يستعمل الرمز ٢ن (أو 2n) للدلالة على عدد الكروموسومات فى الخلايا الجسمية، والرمز ن (أو n) للدلالة على عدد الكروموسومات فى الطور الجاميطى (البويضات وحبوب اللقاح)؛ وعليه .. فإن البسلة – مثلاً – وهى نبات ثنائى عادى تكون فيها ٢ن = ٢س = ١٤ كروموسومًا،

بينما تكون جاميطاتها ١ن = ١س = ٧ كروموسومات. أما فى نبات مثل البطاطس – وهى تحتوى على أربع هيئات كروموسومية كاملة – فإن فيها ٢ن = ٤س = ٤٨ كروموسومًا، بينما تكون فيها الجاميطات ١ن = ٢س = ١٢ كروموسومًا.

أنواع التضاعف

تعرف جميع النباتات التى تحتوى على عدد من الكروموسومات – يختلف عن ضعف العدد الأساسى – بأنها متضاعفة polypolid.

وتقسم حالات التضاعف ploidy (أو polyploidy) إلى فئتين، كما يلى:

١ – التعدد الكروموسومى غير التام:

لا تحتوى النباتات – التى توجد بها ظاهرة التعدد الكروموسومى غير التام Aneuploidy – على مضاعفات العدد الأساسى للكروموسوم؛ كأن ينقصها – مثلاً – كروموسوم أو أكثر، أو يزيد فيها كروموسوم أو أكثر عن مضاعفات العدد الأساسى.

٢ – التعدد الكروموسومى التام:

تحتوى النباتات التى توجد بها ظاهرة التعدد الكروموسومى التام Euploidy على هيئة كروموسومية واحدة، أو أية مضاعفات للهيئة الكروموسومية غير الحالة الثنائية العادية.

هذا .. وتقسم حالات التعدد الكروموسومى التام – بدورها – إلى فئتين رئيسيتين، هما:

أ – التعدد الذاتى:

يتضمن التعدد أو التضاعف الذاتى كل الحالات التى يحتوى فيها الفرد على هيئة كروموسومية واحدة، أو أية مضاعفات للهيئة الكروموسومية ذاتها غير الحالة الثنائية العادية (موضوع الفصل الثانى عشر).

ب – التعدد الهجينى:

يتضمن التعدد أو التضاعف الهجينى كل الحالات التى يحتوى فيها الفرد على هيئتين كروموسومتين كاملتين – أو أكثر من هيئتين كروموسومتين – من نوعين نباتين مختلفين أو أكثر من نوعين (موضوع الفصل الثالث عشر).

ويبين جدول (١١-١) مجموعات من بعض الأنواع النباتية القريبة من بعضها، والتى يتواجد فيها العدد الأحادى والعدد الثنائى للكروموسومات فى نسبة رياضية تشكل كل منها سلسلة متضاعفة.

جدول (١١-١): مجموعات النباتات القريبة من بعضها، والتى يتواجد فيها العدد الأحادى والعدد الثنائى للكروموسومات فى نسب رياضية تشكل كل منها سلسلة متضاعفة.

النوع	العدد الكروموسومى للجاميطات (n)	العدد الكروموسومى الأساسى (x)	العدد الكروموسومى بالخلايا الجسمية (2n)
Avena strigosa	٧	٧	2n = 2x = 14
A. barbata	١٤	٧	2n = 4x = 28
A. sativa	٢١	٧	2n = 6x = 42
Gossypium arboreum	١٣	١٣	2n = 2x = 26
G. hirsutum	٢٦	١٣	2n = 4x = 52
Nicotiana sylvestris	١٢	١٢	2n = 2x = 24
N. tabacum	٢٤	١٢	2n = 4x = 48
Triticum monococcum	٧	٧	2n = 2x = 14
T. turgidum	١٤	٧	2n = 4x = 28
T. aestivum	٢١	٧	2n = 6x = 42
Festuca pratensis	٧	٧	2n = 2x = 14
F. arundinacea var. *glaucescens*	١٤	٧	2n = 4x = 28
F. arundinacea var. *genuina*	٢١	٧	2n = 6x = 42

انتشار ظاهرة التضاعف فى المملكة النباتية

تنتشر ظاهرة التضاعف انتشارًا كبيرًا فى المملكة النباتية، وبخاصة فى المحاصيل الاقتصادية المهمة؛ مثل القمح، والقطن، والبطاطس، والكاسافا، والتبغ. وتقدر نسبة

النباتات المتضاعفة بنحو ٣٠-٣٥٪ من مغطاة البذور. وترتفع هذه النسبة إلى ٧٠٪ بين النجيليات.

تظهر النباتات المتضاعفة فى الطبيعة بمحض الصدفة، فمثلاً .. تتكون النباتات التى ينقص منها كروموسوم، أو يزيد فيها كروموسوم عند حدوث خلل فى الانقسام الميوزى (فى الحالات التى لا تنفصل فيها الكروموسومات الشبيهة عن بعضها البعض Nondisjunction) يؤدى إلى تكوين جاميطات بها ن-١، أو ن + ١ من الكروموسومات. كما تظهر حالات التضاعف الكروموسومى التام عند حدوث خلل فى الانقسام الميوزى، يؤدى إلى تكوين جاميطات بها ٢ن من الكروموسومات.

ظاهرة العقم فى النباتات المتضاعفة

تنتشر ظاهرة العقم فى كثير من الأنواع المتضاعفة، وكذلك فى كثير من حالات التعدد الكروموسومى غير التام؛ وهو ما يكون مرده إلى أى من الأسباب التالية:

١ - عدم الانتظام السيتولوجى cytological irregularities:

من أهم حالات عدم الانتظام السيتولوجى عدم انفصال الوحدات عديدة الكروموسومات التى تتكون أثناء الانقسام الاختزالى؛ الأمر الذى يحدث فى كل النباتات الرباعية التضاعف تقريبًا، وكذلك فقد بعض الكروموسومات فى الطورين الانفصاليين الأول والثانى، وعدم تكون خيوط المغزل بشكل طبيعى .. وجميع تلك الحالات تؤدى إلى تكوين جاميطات غير متوازنة وأقل خصوبة من الجاميطات العادية.

٢ - مسببات وراثية genetic causes:

قد يحدث العقم نتيجة لعوامل فسيولوجية غير معروف طبيعتها - إن كانت محكومة وراثيًا - تؤدى إلى التأثير على التوازن الجينى الدقيق.

٣ - اضطرابات فسيولوجية physiological disturbances:

تنشأ معظم الاضطرابات الفسيولوجية نتيجة لاختلال نسبة السطح الخارجى للخلايا إلى أحجامها، مما يؤثر فى امدادتها من الغذاء؛ الأمر الذى قد يؤدى إلى تقليل عدد الأزهار المتكونة، وعدد حبوب اللقاح بكل متك، مع زيادة نسبة المتوك المتشوهة، والأزهار غير العاقدة ... إلخ.

٤ – إخصاب البويضات:

قد يرجع عدم عقد البذور إلى عدم إخصاب البويضات (عن Chopra ٢٠٠٠).

أعداد الكروموسومات فى النباتات

تظهر فى جدول (١١–٢) قائمة بأعداد الكروموسومات فى الخلايا الجسمية (٢ن)، وفى الهيئة الكروموسومية الواحدة (x) لبعض المحاصيل الاقتصادية. أما أعداد الكروموسومات فى بقية النباتات .. فيمكن الرجوع إليها فى كل من Hayes وآخرين (١٩٥٥)، و Purseglove (١٩٧٢، و ١٩٧٤)، و Simmonds (١٩٧٩).

جدول (١١–٢): أعداد الكروموسومات فى بعض المحاصيل الاقتصادية (عن Elliott ١٩٥٨، و Darrow ١٩٦٦، و Edmond وآخرين ١٩٧٥، و Welsh ١٩٨١، و Hawkes ١٩٨٣).

المحصول	العدد الأساسى (س)	العدد فى الخلايا الجسمية (٢ن)
المحاصيل الحقلية:		
الذرة	١٠	٢٠
البرسيم الحجازى	٨	٣٢
الفول السودانى	١٠	٤٠
التبغ المزروع	١٢	٤٨
القطن الآسيوى	١٣	٢٦
القطن upland	١٣	٥٢
الشوفان المزروع	٧	٤٢
القصب		٨٠
الشعير	٧	١٤
قمح الخبز (السداسى)	٧	٤٢
القمح durum (الرباعى)	٧	٢٨
الفاكهة:		
التفاح	١٧	٣٤، ٥١
جنس ذوات النواة الحجرية *Prunus*	٨	١٦، ٢٤، ٣٢، ٤٨
الموالح	٩	١٨، ٢٧، ٣٦
العنب	١٩	٣٨، ٤٠، ٧٦
الموز	١١	٢٢، ٣٣ للنوع المزروع، ٤٤

تابع جدول (١١-٢):

المحصول	العدد الأساسى (س)	العدد فى الخلايا الجسمية (٢ن)
اللوز	٨	١٦
الكريز الحامضى	٨	٣٢
الكريز الحلو	٨	١٦
الكمثرى	١٧	٣٤، ٥١
الخضر:		
جنس الفراولة *Fragaria*	٧	١٤، ٢١، ٢٨، ٣٥، ٤٢، ٤٩، ٥٦ للنوع الزروع، ٦٣، ٧٠ حتى ٢ن = ١٦س
جنس البطاطس *Solanum*	١٢	٢٤، ٣٦، ٤٨ للنوع الزروع، ٦٠، ٧٢، ٩٦
البطاطا	١٥	٩٠
جنس الطماطم *Lycopersicon*	١٢	٢٤
جنس الكرنبيات *Brassica*	٩، ١٠	١٨، ٣٦، ٢٠، ٥٦
الكاسافا (٤س)		
القلقاس (٢س، ٣س)		
الزهور ونباتات الزينة:		
الورد	٧	١٤، ٢٨، ٣٥، ٤٢، ٥٦
الأقحوان	٩	١٨، ٣٦، ٥٤، ٧٢، ٩٠
الزنبق	١٢	٢٤، ٣٦، ٤٨
الداليا	٨	٣٢، ٦٤
بسلة الزهور	٧	١٤

حالات التعدد الكروموسومى غير التام

تُقسم حالات التعدد الكروموسومى غير التام aneuploidy إلى نوعين رئيسيين، هما:

حالات الإضافات الكروموسومية chromosome additions (وفيها توجد أعداد إضافية من كروموسومات نفس الهيئة الكروموسومية الخاصة بالخلايا الجسدية للكائن المعنى)، وحالات النقص الكروموسومى chromosome deletions (وتنقص فيها كروموسومات كاملة من الهيئة الكروموسومية الكاملة الخاصة بالخلايا الجسمية للكائن

المعنى)، ولكنها تبقى – دائمًا – فى حدود التعدد غير التام ؛ أى لا يتضمن النقص أو الزيادة هيئة كروموسومية كاملة. ويعطى جدول (١١–٣) بيانًا يجمع حالات التعدد الكروموسومى غير التام التى قد تظهر فى الأفراد العادية، وهى التى نتناولها بالشرح فيما تبقى من هذا الفصل.

جدول (١١–٣): أنواع التعدد الكروموسومى غير التام aneuploidy للأفراد الثنائية العدد الكروموسومى diploid (أو disomic أو 2n) العادية.

حالة التعدد غير التام	عدد الكروموسومات [أ]
الإضافات الكروموسومية chromosome additions	
primary trisomic	2n + 1A
double trisomic	2n + 1A + 1B
tetrasomic	2n + 2A
secondary trisomic	2n + isochrosome A
telosomic trisomic	2n + telocentric A
tertiary trisomic	2n + interchange A
النقص الكروموسومى chromosome deletions	
monosomic	2n - 1A
nullisomic	2n - 2A
double monosomic	2n - 1A - 1B
monoisodisomic	2n - 2A + isochromosome A
monotelosomic	2n - 2A + telocentric A

أ – A، و B كروموسومان مختلفان من الهيئة الكروموسومية. ويشير الرقم السابق للحرف إلى عدد نسخ الكروموسومات التى توجد فى الفرد ذات التضاعف الكروموسومى غير التام.

وبالإضافة إلى ما يتضمنه جدول (١١–١) من مختلف الحالات للتعدد الكروموسومى غير التام، فإنه قد يتوفر – أحيانًا – حالات أخرى تعرف باسم polysomics، يتكرر فيها أحد كروموسومات الهيئة الكروموسومية – أكثر من مرتين – عما يوجد – عادة – فى الفرد العادى، كما فى الـ pentasomics (وهى: 2n + 3A)، والـ hexasomics (وهى: 2n + 4A) ... وهكذا.

ونقدم – فيما يلي – توضيحًا – لبعض المصطلحات التي وردت في الجدول:

● يُعرف الـ isochromosome باسم الكروموسوم المتماثل الزراعيين، نظرًا لأنه يحتوى على ذراعين متماثلين حول السنترومير بدلاً من ذراعية العاديين المختلفين.

● أما الكروموسوم الـ telocentric فإنه يحتوى على ذراع كروموسومى يوجد السنترومير فى نهايته.

● وبالمقارنة .. فإن الكروموسوم الـ tertiary يحتوى على أجزاء من كروموسومين مختلفين، بسبب حدوث ظاهرة الانتقال المتبادل reciprocal translocation.

● ويحتوى الكروموسوم الـ telocentric على ذراع كروموسومى واحد؛ أى إن الأفراد الـ monotelosomics ينقصها نسخة من ذراع أحد الكروموسومين، ونسختا الذراع الآخر (عن Fehr ١٩٨٧).

الأحادية الكروموسوم

تعريف الحالات الأحادية الكروموسوم

تحتوى النباتات الأحادية الكروموسوم monosomiscs على كروموسوم واحد أقل مما فى الحالة العادية (٢ن–١). وقد دُرِسَتْ أفراد من هذا النوع فى القمح، والتبغ، وبعض النباتات الأخرى التى توجد بها ظاهرة التعدد الكروموسومى التام، ولكنها نادرًا ما توجد فى النباتات الثنائية المجموعة الكروموسومية (التى يكون فيها ٢ن = ٢س)؛ لأن نقص كروموسوم كامل فى مثل هذه النباتات يؤدى إلى عقمها، وغالبًا ما يؤدى إلى موتها. أما فى النباتات المتضاعفة كالقمح .. فإن النقص فى كروموسوم كامل لا يكون له تأثير كبير فى الفرد؛ حيث يقوم التكرار الموجود فى الهيئة الكروموسومية مقام الكروموسوم المفقود.

وتتوفر مجموعات كاملة من الـ monosomics (ينقص كل منها أحد كروموسومات الجينوم المحصولى) فى كل مما يلى (عن Chahal & Gosal ٢٠٠٢).

المحصول	٢ن	عدد الـ monosomics
الهُرطُومان (الزمير) *Avena sativa*	٤٢	٢١
التبغ *Nicotiana tabacum*	٤٨	٢٤
القمح *Triticum aestivum*	٤٨	٢١

الوراثة السيتولوجية للنباتات الأحادية الكرموسوم

نجد عند الانقسام الاختزالى أن النباتات التى ينقصها كروموسوم واحد (الـ monosomics) تكون نوعان من الجاميطات، هما: n، و n-1، يفترض أن تكون نسبتهما ١:١، ولكن غالبًا ما يفقد الكروموسوم الذى لا يوجد له نظير؛ مما يؤدى إلى زيادة نسبة الجاميطات الـ n-1 عن النسبة المتوقعة. ويؤدى تزاوج النوعيات المختلفة من الجاميطات إلى تكوين نباتات 2n، وأخرى 2n-1، وثالثة 2n-2 إلا أن الأخيرة قد لا يكتمل نمو وتكوين أجنتها.

وتجدر الإشارة إلى أن فقد أحد الكروموسومات من الجاميطة يؤثر على خصوبتها وحيويتها، ولكن هذا التأثير يكون أقوى كثيرًا فى حبوب اللقاح عما فى البويضات؛ مما يعطى البويضات التى ينقصها أحد الكروموسومات فرصة أكبر لأن تخصب بحبوب لقاح عادية عن فرصة تخصيبها بحبوب لقاح ينقصها أحد الكروموسومات؛ وبذا .. تقل كثيرًا فرصة تكوين زيجوتات 2n-2.

استخدامات النباتات الأحادية الكروموسوم

تستخدم النباتات الأحادية الكروموسوم فى تحديد الكروموسومات التى توجد بها مختلف الجينات؛ نظرًا لأنها تعطى انعزالات غير عادية بالنسبة للجينات التى توجد على الكروموسوم الناقص. كما استخدمت النباتات الأحادية فى إحلال كروموسوم محل آخر، ويتم الإحلال بالتلقيح الرجعى للسلالة الأحادية الكروموسوم. وقد يكون الكروموسوم الجديد – الذى يحل محل الكروموسوم الناقص – من نفس النوع أو الجنس النباتى، أو من نوعٍ أو جنس آخر.

أولًا: تحديد الكروموسومات الحاملة للجينات

تستخدم الـ monosomics فى التعرف على الكروموسوم الحامل لأى جين، ويتطلب الأمر توفر monosomics من جميع كروموسومات الهيئة الكروموسومية – تكون سائدة فى الجين المعنى – وتلقح كأمهات بنباتات ثنائية عادية متنحية أصيلة فى ذلك الجين؛ حيث نحصل من مختلف التلقيحات إما على أفراد سائدة خليطة (Aa مثلاً) فى الجين المعنى (عندما لا يكون الجين المعنى على الكروموسوم الناقص بالـ

monosomic)، وإما على أفراد سائدة خليطة (Aa) وأخرى متنحية hemizygous (a فقط) بنسبة ١:١ (عندما يكون الجين المعنى محمولاً على الكروموسوم الناقص من الهيئة الكروموسومية بالـ monosomic).

أما إذا كان الجين المحمول على مختلف الـ monosomics متنحيًا (سواء أكانت تلك الأفراد homozygous، أم hemizygous)، فإن تلك الـ monosomics تلقح - كأمهات - بفرد سائد أصيل في الجين المعنى، حيث تكون جميع نباتات الجيل الأول حاملة للصفة السائدة، إلاّ أن الانعزال في الجيل الثاني هو الذى يحدد الكروموسوم الحامل لهذا الجين، حيث تنعزل جميع أفراد الجيل الأول التى نتجت من التلقيح مع الـ monosomic التى لا ينقصها الكروموسوم الحامل لهذا الجين (وهى التى يكون تركيبها الوراثى Aa) بنسبة ٣ سائد:١ متنحى، بينما تعطى نصف أفراد الجيل الأول التى نتجت من التلقيح مع الـ monosomic التى ينقصها الكروموسوم الحامل لهذا الجين (والتى تكون hemizygous، أى A فقط) أفرادًا سائدة فى الصفة، فى الوقت الذى ينعزل فيه النصف الآخر (ذات التركيب الوراثى Aa) بنسبة ٣ سائد: ١ متنحى (عن Fehr ١٩٨٧).

ثانيًا: إحلال كروموسوم محل آخر

يمكن استخدام النباتات الأحادية الكروموسوم فى إنتاج سلالات يحل فيها كروموسوم كامل محل كروموسوم آخر، وتعرف السلالات الناتجة باسم specific chromosome substitution lines.

ويطلق على نقل كروموسومات كاملة من أحد الأصناف إلى صنف آخر من نفس النوع النباتى، أو من نوع آخر اسم chromosome substitution، وقد تم تحقيق ذلك بالاستعانة بكل من: الـ monosomics، والـ nullisomics، والـ monotelosomics، والـ monoisodisomics. ولقد طورت تقنيات هذا النقل الكروموسومى فى القمح أولاً، ثم طبقت على محاصيل أخرى.

ويعرف التركيب الوراثى الذى يحتوى على كروموسوم زائد أو كروموسومين كاملين زائدين من نوع آخر باسم alien addition line. أما الـ alien substitution line ففيها

يحل كروموسوم كامل من أحد الأنواع أو كروموسومين كاملين محل كروموسوم كامل أو كروموسومين فى نوع آخر.

وتعرف طريقتان رئيسيتان لإنتاج سلالات يحل فيها كروموسوم كامل محل كروموسوم آخر باستخدام النباتات الأحادية الكروموسوم، هما:

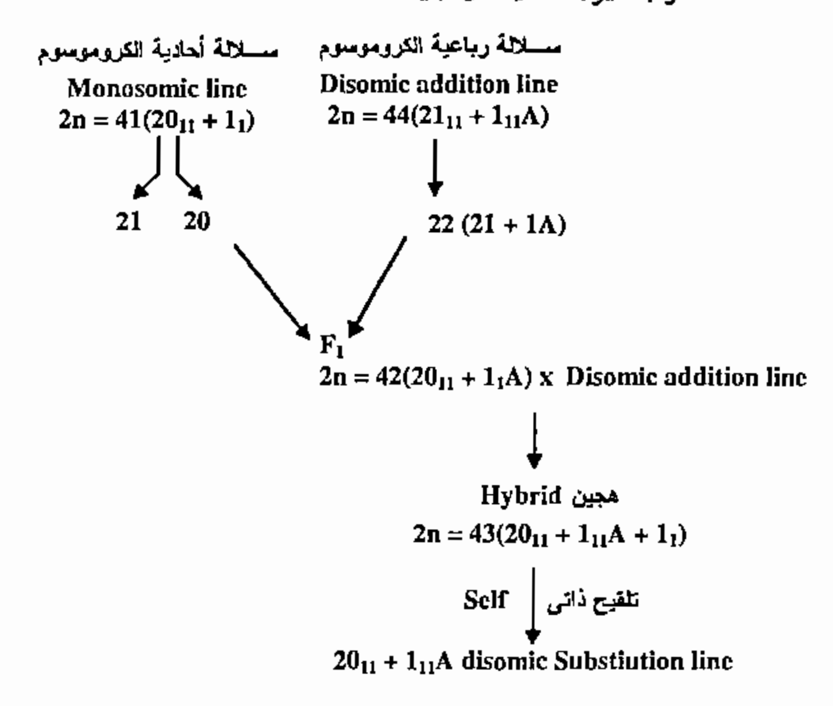
١ – تلقح السلالة الأحادية الكروموسوم كأم (لأن البويضات فقط هى التى تبقى محتفظة بحيويتها عندما ينقصها أحد الكروموسومات، بخلاف حبوب اللقاح التى تفقد حيويتها إن لم تكن كاملة العدد الكروموسومى) بلقاح نبات عادى، على أن يكون الكروموسوم الناقص فى الـ monosomic هو المطلوب استبداله بآخر. ويتبع ذلك تلقيح النسل رجعيًّا إلى الـ monosomic – لمدة ستة إلى ثمانية أجيال – حتى يتم استعادة معظم جينات الأب الرجعى، ثم يلقح النسل الناتج ذاتيًّا لعزل السلالة الجديدة التى تحتوى على كروموسوم كامل حلَّ محل الكروموسوم الناقص فى السلالة الـ monosomic الأصلية.

٢ – تلقيح السلالة الأحادية الكروموسوم 2n-1 مع سلالة 2 + 2n (شكل ١١–١). تُنتج السلالة التى ينقصها الكروموسوم نوعين من الجاميطات، هما n، و n-1، بينما تُنتج السلالة 2 + 2n نوعًا واحدًا من الجاميطات يكون n + A، حيث يشير A إلى الكروموسوم الزائد مرتان فى السلالة 2 + 2n. تُنتخب نباتات الجيل الأول التى تنتج من اتحاد جاميطة n-1 مع جاميطة n + A، وتلقح مرة أخرى مع السلالة 2 + 2n، حيث يعطى الهجين الناتج من هذا التلقيح أربعة أنواع من الجاميطات، هى: (n-1)، و (n)، و (n-1 + A)، و (n + A)، ويتم انتخاب الهجين الذى ينتج من تزاوج جاميطة (n-1 + A) وجاميطة (n + A)، حيث يلقح ذاتيًّا ويستعمل كسلالة disomic substition line.

إن نتائج الدراسات التى استبدل فيها كروموسوم كامل من أحد الأنواع بآخر من نوع برى لم تكن مرضية؛ حيث غالبًا ما يحتوى الكروموسوم المنقول من نوع برى عديدًا من الجينات الأخرى غير المرغوب فيها، ولا تعرف سوى سلالة واحدة ناجحة تجاريًّا من هذا القبيل تعرف باسم ويكى weique، وفيها حل زوج من كروموسومات النوع *Agropyron intermedium* محل زوج من كروموسومات القمح (عن Agrawal ١٩٩٨).

الأحادية/الثنائية الكروموسوم

تحتوى النباتات الأحادية – الثنائية الكروموسوم Monoisodisomics على كروموسوم متماثل الذراعين isochromosome مكان أحد أزواج الكروموسومات؛ ويعنى ذلك أن نصف الكروموسوم المكرر فى هذا الكروموسوم يكون مماثلاً مرتين، بينما يختفى – تمامًا – النصف الآخر بما يوجد عليه من جينات.



شكل (١١–١): تخطيط التلقيحات التى تلزم لإنتاج سلالة يحل فيها كروموسوم كامل محل آخر، باستخدام كل من النباتات الثنائية والرباعية الكروموسوم.

غائبة الكروموسومين

تعريف الحالات الغائبة الكروموسومين

إن الأفراد الغائبة الكروموسومين Nullisomics هى التى يغيب فيها زوج كامل من الكروموسومات المتماثلة؛ أى تكون (٢ن–٢)، وتنشأ عندما تخصب بيضة (ن–١) بحبة لقاح (ن–١). لم يمكن إنتاج الأفراد غائبة الكروموسومين إلا فى النباتات المتضاعفة؛ لأن عمل زوج الكروموسومات الناقص يمكن أن تقوم به – جزئيًا – الكروموسومات الأخرى

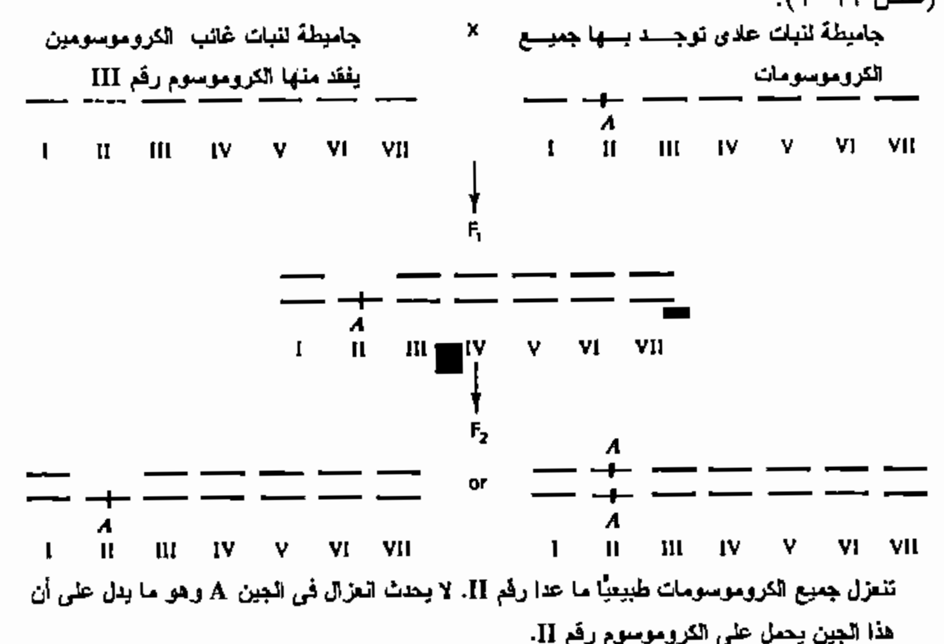
المثيلة homologus فى حالة التضاعف الذاتـى، أو الكروموسـومات المنـاظرة مـن الهيئـة الكروموسومية الأخرى homeologus فى حالة التضاعف الهجينى.

وتكـون النباتـات غائبـة الكرومـوسومين – مثـل بقيـة النباتـات ذات التعـدد الكروموسومى غير التام – أضعف نموًّا من النباتات الثنائية العادية، وغير ثابتة وراثيًّـا، ويكون انقسامها الاختزالى غير متوازن؛ لذا .. فإنها تكون على درجة عالية مـن العقم، وتكون عديمة القيمة كأصناف تجارية.

استخدامات النباتات الغائبة الكروموسومين

يستفيد المربى من النباتات الغائبة الكروموسومين، فيما يلى:

١ – تحديد الكروموسومات التى تحمل الجينات المختلفة (لأن وراثـة الصفـات فيـها تشذ عن النسـب العادية، عندما تكون الجينات محمولة علـى زوج الكروموسـوم الغـائب (شكل ١١–٢).



تنعزل جميع الكروموسومات طبيعيًا ما عدا رقم II. لا يحدث انعزال فى الجين A وهو ما يدل على أن هذا الجين يحمل على الكروموسوم رقم II.

شكل (١١–٢): استعمال الأفراد الغائبة الكروموسومين فى تحديد الكروموسوم الحامل لجين معـين. يفترض أن حالة غياب الكروموسوم لا تنتقل عـن طريـق الأم (عـن Welsh ١٩٨١).

٢ – نقل وإحلال كروموسومات كاملة – تحمل جينات مرغوبًا فيها – من نفس النوع أو من نوع، أو جنس آخر بطريقة التهجين. ويطلق على السلالات التى يحل فيها زوجًا أحد الكروموسومات من أحد الأنواع محل زوج شبيه من نوع آخر اسم Alien Substitution Lines، وهى غالبًا ما تختلف فى صفاتها – بشدة – عن النوع الأصلى.

٣ – تحديد درجة التماثل بين الكروموسومات

تحدد درجة التماثل homoelogy بين الكروموسومات، ويتم التعرف على مجموعات الكروموسومات المتماثلة homoelogus groups، وذلك بالاستعانة بالـ nullisomics المختلفة للمحصول الواحد واستكمال العدد الكروموسومى لها بأزواج كروموسومية مختلفة من النوع الذى يُراد تحديد درجة تماثله الكروموسومى مع كروموسومات المحصول المعنى. وتتحدد درجة التماثل من ملاحظة شدة التقارن بين أزواج الكروموسومات المعنية أثناء الانقسام الاختزالى، بالإضافة إلى مقارنة صفات المحصول العادى بسلالة المحصول الـ nullisomic وسلالته التى استبدل فيها زوج الكروموسومات الناقص فى الـ nullisomic بالزوج الجديد. وتعد الكروموسومات أكثر تماثلاً كلما قربت صفات السلالة الأخيرة مع صفات المحصول العادى بدرجة أكبر من تقاربها مع صفات السلالة الـ nullisomic (عن Fehr ١٩٨٧).

أحادية الكروموسوم المزدوجة

إن الفرد الأحادى الكروموسوم المزدوج Double Monosomic ينقصه كروموسومان غير متماثلين non-homologus؛ أى يكون (٢ن–١–١). ولا تتوفر هذه الحالة إلا فى النباتات المتضاعفة، وينطبق عليها كل ما سبق ذكره بالنسبة للأفراد غائبة الكروموسومين.

الثلاثية الكروموسوم من الدرجة الأولى

تعريف الحالات الثلاثية الكروموسوم من الدرجة الأولى

تحتوى الخلايا الجسمية للأفراد الثلاثية الكروموسوم من الدرجة الأولى Primary Trisomics على كروموسوم واحد زائد على الحالة الثنائية العادية (٢ن+١)؛ أى يكون فيها أحد الكروموسومات ممثلاً ثلاث مرات. تنعزل الكروموسومات فى أثناء الانقسام

الاختزالى الأول فى مثل هذه النباتات – عادة – بتوجه كروموسومين متماثلين إلى قطب، وتوجه الكروموسوم الثالث المماثل إلى القطب المضاد. ويتوقف ذلك على الاقتران الكروموسومى الذى يكون – عادة – على هيئة وحدة ثلاثية الكروموسوم trivalent.

تنتقل الحالة ثلاثية الكروموسوم عن طريق الأمهات لأن الكروموسوم الزائد يكون – عادة – مميتًا لحبوب اللقاح. وعند تكوّن الجاميطات المؤنثة فى نبات ثلاثى الكروموسوم .. يتوقع أن تكون نصف البيضات طبيعية؛ أى تحتوى على العدد الأحادى (ن) من الكروموسومات، والنصف الآخر يحتوى على (ن+١) من الكروموسومات. وعندما تخصب البيضات بحبوب لقاح تحتوى على (ن) من الكروموسومات .. فإن النسل الناتج يكون من طرازين، أحدهما ثنائى الكروموسوم (٢ن)، والآخر ثلاثى الكروموسوم (ن+١)؛ وعليه .. فإنه يتوقع انتقال الحالة ثلاثية الكروموسوم إلى النسل بنسبة النصف، إلا أنها تكون – فى الحقيقة – أقل من النصف، ويرجع ذلك إلى أن الكروموسوم الزائد قد يفقد – أحيانًا – فى أثناء الانقسام الاختزالى؛ ولهذا السبب .. فإن النباتات ثلاثية الكروموسوم تكون غير ثابتة وراثيًا، وتعود – تدريجيًا – إلى الحالة الثنائية، إلا إذا حوفظ عليها بالانتخاب.

انتشار الحالات الثلاثية الكروموسوم من الدرجة الأولى

لوحظت النباتات ثلاثية الكروموسوم من الدرجة الأولى فى كثير من النباتات، مثل الداتورة، والطماطم، والذرة، والقمح، والتبغ.

ولقد أمكن فى بعض النباتات إنتاج عدد من الطرز ثلاثية الكروموسوم، مساو لعدد الكروموسومات فى الهيئة الكروموسومية للنوع. وكانت بداية الدراسات التى من هذا النوع على نبات الداتورة؛ حيث تمكن Blackslee من التعرف على ١٢ سلالة طبيعية ثلاثية الكروموسوم، تمثل كل منها كروموسومًا زائدًا من الأثنى عشر كروموسومًا التى تضمها الهيئة الكروموسومية للداتورة.

كما ذكر Rick (١٩٨٧) مواصفات اثنتى عشرة سلالة مماثلة ثلاثية الكروموسوم فى الطماطم، علمًا بأن الطماطم تحتوى – هى الأخرى – على اثنى عشر زوجًا من الكروموسومات. وفى جميع الحالات .. كانت لكل سلالة ثلاثية الكروموسوم صفات

مورفولوجية خاصة، تميزها عن النباتات الثنائية العادية، وعن غيرها من السلالات الثلاثية الكروموسوم ... إلا أن السمة المميزة الغالبة عليها جميعًا كان ضعف وبطء النمو.

ولقد لخص Chahal & Gosal (٢٠٠٢) المحاصيل التى تتوفر فى مجموعات كاملة من السلالات الثلاثية الكروموسوم من الدرجة الأولى، فيما يلى:

المحصول	٢ن	عدد الـ monosomics
الشعير	١٤	٧
الفلفل	٢٤	١٢
الزمير	٤٢	٢١
الأرز *O. sativa*	٢٤	١٢
الدخن *Sorghum vulgare*	٢٠	١٠
الطماطم	٢٤	١٢
القمح *Triticum aestivum*	٤٢	٢١

استخدامات النباتات الثلاثية الكروموسوم من الدرجة الأولى

يستفيد المربى من النباتات الثلاثية الكروموسوم من الدرجة الأولى، فيما يلى:

١ – تحديد الكروموسومات الحاملة لجينات معينة:

يُستفاد من النباتات ثلاثية الكروموسوم فى تحديد الكروموسومات الحاملة لجينات معينة. ويجرى ذلك – بالنسبة لإحدى الصفات – بتلقيح نبات يحمل هذه الصفة بحالة متنحية أصيلة (aa) مع جميع السلالات ثلاثية الكروموسوم المكنة من هذا النوع، على أن تكون جميعها أصيلة فى الآليل السائد A، ثم تنتج بذور الجيل الثانى لكل تلقيح، وتزرع لدراسة الصفة فى مختلف عشائر الجيل الثانى.

يلاحظ أن انعزال الصفة يكون عاديًّا، وبنسبة ٣ سائدًا: ١ متنحيًّا فى جميع عشائر الجيل الثانى، فيما عدا واحدة منها، هى التى تنتج من التلقيح مع السلالة الثلاثية الكروموسوم التى يُحمل الجين المدروس على كروموسومها المكرر بحالة ثلاثية؛ إذ يكون التركيب الوراثى لهذه السلالة AAA، ويكون التركيب الوراثى لبعض نباتات الجيل

الأول Aa، وبعضها الآخر AAa. والنوع الثانى من النباتات هـو الـذى يعطـى انعـزالات غير طبيعية فى الجيل الثانى؛ لأنها تنتج نوعين من الجاميطات، يكون بأحدهمـا (ن)، بالآخر (ن+١) من الكروموسومات. ولا تظهر الأفـراد التـى تحمـل الصفـة المتنحيـة فـى الجيل الثانى إلا إذا لقحت بيضة (ن) تحمل الآليل (a) بحبة لقاح مماثلة، وهى تتكون – نظريًّا – بنسبة ١ متنحية: ٣٦ سائدة. وبرغم أن نسبة كبيرة مـن الجاميطـات التـى تحمل كروموسومًا زائدًا (ن+١) تكـون عقيمـة – وهـو مـا يـترتب عليـه أن تكـون معظـم الجاميطات المتكونة ثنائية (٢ن) – إلا أن نسبة النباتات المتنحية الأصيلة aa تبقى أقـل بكثير مما فى عشائر الجيل الثانى للطرز الأخرى الثلاثية الكروموسوم.

٢ – نقل أجزاء من كروموسوم أحد الأنواع إلى نوع خر:

من الممكن نقل أجزاء من كروموسوم أحد الأنواع إلى نوع آخر، كما حدث عندما نقلت صفة المقاومة للصدأ من *Aegilops umbellulata* إلى القمح بالاستعانة بـ alien addition line كانت تحتوى على كروموسوم كامل إضافى من *A. umbellulata*؛ وبالمعاملة بأشـعة إكس .. أمكن إحداث كسورًا فى هذا الكروموسوم الزائد، حتـى أمكـن الاحتفـاظ بقطعـة صغيرة منه فقط فى جيرمبلازم القمح كانت تحتـوى علـى الجـين المسئول عـن المقاومـة للصدأ (عن Fehr ١٩٨٧).

٣ – زيادة نسبة النباتات ذات الأزهار المزدوجة فى المنثور:

يوجد نوعان من الأزهار فى المنثور، ينتج أحدهما أزهارًا مفردة، وينتج الآخر أزهـارًا مزدوجة. والنوع الثانى هـو المرغـوب تجاريًّـا، وهـو خـال مـن أعضـاء التذكـير وأعضـاء التأنيث، ويكثر من بـذور منتجة على نباتات تحمل أزهارًا مفـردة. وقـد وجـدت ثلاثـة طرز من النباتات ذات الأزهار المفردة، تختلف فيما تنتجه عند تلقيحها ذاتيًّا كما يلـى: طراز يكون نسلة الناتـج من التلقيح الذاتى ذا أزهار مفردة فقط، وطراز آخـر ينعـزل فيـه النسـل بنسبة (١) ذا أزهار مزدوجة: (٣) ذا أزهار مفردة، وطراز ثالث تكـون فيـه ٥٤–٥٦٪ من النباتات التى تنتج من تلقيحه ذاتيًّـا ذات أزهـار مزدوجـة. ومـن الطبيعـى أن الطراز الثالث هو الطراز الذى يفضل استخدامه فى إنتاج البذور، ويطلق عليه اسم ever sprouting؛ بسبب النسبة العالية للنباتات ذات الأزهار المزدوجة التى تظهر فى النسـل.

وقد اقتُرِحَ لتفسير هذه الحالة وجود جين مميت متنحٍ، يؤدى إلى موت نصف حبوب

اللقاح، ونحو ٦-٨٪ من البويضات، وأن هذا الجين يحمل على نفس الكروموسوم الذى يحمل عليه الجين الذى يتحكم فى حالة الأزهار المفردة، وهو جين سائد؛ وعليه .. فإن النباتات ذات الأزهار المفردة إما أن تكون أصيلة، وإما أن تكون خليطة فى الصفة. وتنتج الأفراد الأصيلة نباتات ذات أزهار مزدوجة فقط (أى إنها تكون من الطراز الأول)، وتنتج الأفراد الخليطة نباتات ذات أزهار مزدوجة، وأخرى ذات أزهار مفردة؛ بنسبة ١:٣ (أى أنها تكون من الطراز الثانى). أما الطراز الثالث من النباتات ذات الأزهار المفردة (الـ ever sprouting)؛ فقد افترض أنه يكون خليطًا فى كل من الجين المميت والجين الذى يتحكم فى نوع الأزهار، وهى حالة يترتب عليها زيادة نسبة النباتات ذات الأزهار المزدوجة فى النسل إلى ٥٤-٥٦٪.

وقد تبين من الدراسات السيتولوجية التى أجريت على نباتات الطراز الثالث (الـ ever sprouting) أنه توجد بأحد الكروموسومات عقدة knob لا توجد بالكروموسوم المماثل homologus chromosome فى نفس الخلية، وأن وجود هذه العقدة كان ضروريًا لحيوية حبوب اللقاح؛ بمعنى أن حبوب اللقاح التى لا يصل إليها الكروموسوم الذى يحتوى على العقدة لا تنبت. هذا .. بينما تكون جميع البويضات خصبة، سواء احتوت على الكروموسوم ذا العقدة، أم على الكروموسوم الآخر. ويعنى ذلك أن العقدة تحمل الجين الذى يتحكم فى صفة الأزهار المزدوجة – وهو جين متنح – ويؤدى موت حبوب اللقاح التى لا تحمل هذا الجين (وهى الخالية من العقدة) إلى أن يكون نصف النسل أصيلاً فى هذا الجين المتنحى وذا أزهار مزدوجة، والنصف الآخر خليطًا، وذا أزهار مفردة وهى الصفة السائدة. إلا أن نسبة النباتات ذات الأزهار المزوجة تزيد قليلاً على ٥٠٪ (تصل إلى ٥٤-٥٦٪)، ربما بسبب موت بعض البويضات التى تخلو من الكروموسوم ذى العقدة.

وقد وجد نبات من الطراز الثالث كانت أوراقه ضيقة جدًّا، وقد أنتج هذا النبات لدى تلقيحه ذاتيًا نسلاً كانت ٤٧٪ من نباتاته ذات أزهار مفردة، و ٥٣٪ ذات أزهار مزدوجة، وهى النسبة العادية. وقد كانت ٣٧٪ من نباتات النسل ذات أوراق ضيقة وضعيفة النمو، وكانت النباتات الباقية طبيعية الأوراق، إلا أنها ضمت – فيما بينها – ٩٠٪ من النباتات ذات الأزهار المزدوجة.

ونظرًا لأن النباتات ذات الأوراق الضيقة يمكن التعرف عليها بسهولة، حتى وهى فى طور البادرة؛ لذا .. فإنه يمكن التخلص منها بسهولة فى هذه المرحلة من النمو؛ لتتبقى – بعد ذلك – النباتات ذات الأوراق الطبيعية فقط، وهى التى ترتفع فيها نسبة النباتات ذات الأزهار المزدوجة إلى ٩٠٪.

وقد تبين من الدراسات السيتولوجية أن النباتات ذات الأوراق الضيقة .. تحتوى على كروموسوم زائد (٢ن + ١). ويبدو أن هذا الكروموسوم الذى يوجد ممثلاً ثلاث مرات هو الذى يحمل الجين المسئول عن نوع الأزهار؛ كما يبدو أنه يحمل أيضًا الجين المسئول عن صفة الأوراق الضيقة؛ لأنه لم يلاحظ إلا فى هذه النوعية من النباتات. ويتبين من ذلك كيف أن التخلص من النباتات ذات الأوراق الضيقة يؤدى – فى الوقت نفسه – إلى التخلص من معظم النباتات ذات الأزهار المفردة (عن Emsweller وآخرين ١٩٣٧).

الثلاثية الكروموسوم من الدرجة الثانية

تحتوى النباتات ثلاثية الكروموسوم من الدرجة الثانية Secondary Trisomics على كروموسوم زائد، يكون عبارة عن نصف كروموسوم (ذراع كروموسومى) عادى مكرر مرتين؛ أى إن الكروموسوم الزائد يكون متضاعف الذراعين isochromosome؛ وبمعنى آخر .. فإن الذراع المكرر يكون ممثلاً فى الخلية الواحدة أربع مرات؛ وبذلك .. يتوقع إمكان وجود طرز ثلاثية الكروموسوم من الدرجة الثانية تساوى ضعف عدد أزواج كروموسومات النوع. وقد اكتشف Blackslee عددًا كبيرًا من هذه الطرز فى الداتورة. والمعادلة العامة لحالة ثلاثى الكروموسوم من الدرجة الثانية هى: (٢ن + ١ ، ١)، أو (٢ن + ٢ ، ٢)؛ حيث تدل الأرقام ١، و ٢ ... إلخ على رقم الكروموسوم الذى يتكرر نصفه.

الثلاثية الكروموسوم من الدرجة الثالثة

تعريف الحالات الثلاثية الكروموسوم من الدرجة الثالثة

تنشأ حالة ثلاثى الكروموسوم من الدرجة الثالثة Tertiary Trisomics من انتقال

كروموسومى؛ إذ إن الكروموسوم الزائد يتكون من نصفى كروموسومين غير متماثلين. والمعادلة العامة لهذه الحالة هى: (٢ن + ١ ، ٣)؛ حيث تدل الأرقام ١ ، و ٣ ... إلخ على أرقام الكروموسومات التى ترتبط أنصافها فى كروموسوم واحد زائد. يتوقع وجود طرز كثيرة جدًا من هذه الحالة فى كل نوع نباتى، وقد حصل Blackslee على بعضها فى الداتورة.

استخدامات النباتات الثلاثية الكروموسوم من الدرجة الثالثة

يستخدم المربى النباتات الثلاثية الكروموسوم من الدرجة الثالثة – وجميعها حالات لانتقالات كروموسومية – فيما يلى:

١ – الدراسات الوراثية .. مثل تحديد موضع السنتروميرات وغيرها من المعلمات السيتولوجية بالنسبة للجينات، ومجموعة الارتباط التى ينتمى إليها الجين.

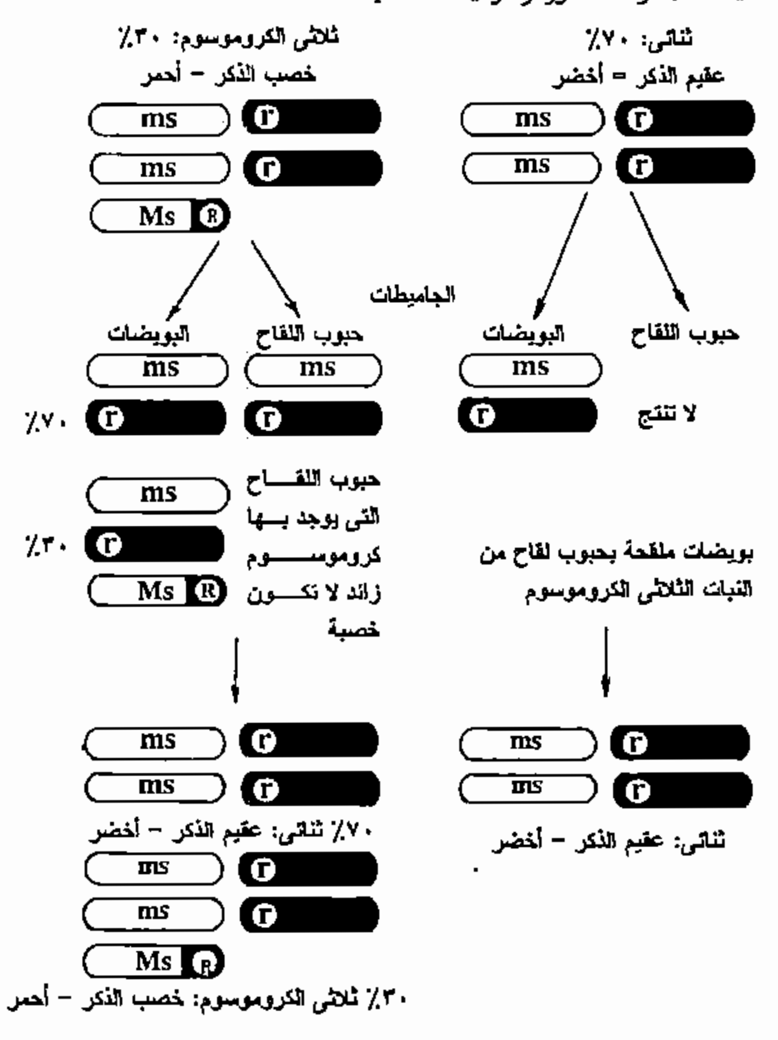
٢ – إنتاج السلالات المرباة داخليًّا:

اقترح منذ عام ١٩٦٢ استخدام السلالات التى تحتوى على انتقالات فى جميع كروموسومات الهيئة الكروموسومية فى إنتاج نباتات أصيلة فى خلال جيل واحد، إلا أن تلك الطريقة لم تستعمل فى هذا المجال نظرًا للمشاكل والصعوبات التى تكتنفها.

٣ – إنتاج الهجن وإكثار النباتات العقيمة الذكر:

اقترح استخدام النباتات الثلاثية الكروموسوم من الدرجة الثالثة فى إنتاج هجن الشعير، وفى إكثار نباتات الشعير العقيمة الذكر، ويبين شكل (١١–٣) الطريقة التى اقترحها Ramage، واستخدمها لإنتاج هجن الشعير (عن Briggs & Knowles ١٩٦٧). ويتطلب الأمر أن يكون طراز الثلاثى الكروموسوم من الدرجة الثالثة متوازنًا Balanced Tertiary Trisomic؛ فيحتوى على آليل العقم الذكرى بصورة متنحية أصيلة (msms) على زوج الكروموسومات الذى يحمل – طبيعيًّا – هذا الجين، كما يحمل الآليل السائد لهذا الجين (Ms) على الكروموسوم الزائد. ويعنى ذلك أن النسل الثنائى العادى لهذا النبات يكون – دائمًا – عقيم الذكر، بينما تكون النباتات الخصبة الذكر – دائمًا – ثلاثية الكروموسوم من الدرجة الثالثة. ويتوزع النسل بينهما – غالبًا – بنسبة ٧٠٪، و ٣٠٪ للنباتات العقيمة الذكر والخصبة الذكر على التوالى. كما يكون كل نسل النباتات الثنائية عقيم الذكر أيضًا.

وحقيقة الأمر أن ١٪ – أو أقل – من نسل النباتات ثلاثية الكروموسوم من الدرجة الثالثة يكون ثلاثي الكروموسوم من الدرجة الأولى، ولكنها تكون عقيمة الذكر؛ لأن كل كروموسوماتها تحمل الآليل ms. وكما في جميع الحالات الثلاثية الكروموسوم .. فإن الكروموسوم الزائد لا ينتقل خلال حبوب اللقاح، ويحدث ذلك – على الأقل – في النباتات الثنائية المجموعة الكروموسومية diploids.



شكل (١١–٣): طريقة استخدام النباتات الثلاثية الكروموسوم من الدرجة الثالثة المتوازنة Balanced Tertiary Trisomics في إنتاج هجن الشعير. يراجع المتن للتفاصيل.

وإذا حمل زوج آخر من الكروموسومات الآليل المتنحي (r) الذى يتحكم فى اللون النباتي الأخضر، وحمل الكروموسوم الزائد الآليل الآخر السائد لهذا الجين (R)، الذى يتحكم فى اللون النباتي الأحمر؛ فحينئذ .. تكون كل النباتات الحمراء ثلاثية الكروموسوم، بينما تكون كل النباتات الخضراء ثنائية المجموعة الكروموسومية.

وتحصد النباتات الثلاثية الكروموسوم من خليط النباتات الثلاثية الكروموسوم من الدرجة الثالثة والثنائية المجموعة الكروموسومية يدويًا، وتستعمل كمصدر للنباتات الثلاثية الكروموسومات وثنائية المجموعة الكروموسومية فى الموسم التالى. وتحصد النباتات الثنائية المجموعة الكروموسومية المتبقية آليًا، وتستخدم كأم فى حقول إنتاج الهجن. ويتطلب استخدام النباتات الثلاثية الكروموسوم من الدرجة الثالثة المتوازنة فى إنتاج بذور هجن الشعير – أن ينتج النباتات الثلاثى الكروموسوم حبوب اللقاح بوفرة، وأن تتوفر الظروف البيئية التى تسمح بانتقال حبوب اللقاح إلى النباتات الثنائية المجموعة الكروموسومية العقيمة.

ثلاثية الكروموسوم المزدوجة

يوجد فى النباتات الثلاثية الكروموسوم المزدوجة Double Trisomics كروموسومان، يكون كل منهما ممثلاً ثلاث مرات، والمعادلة العامة لهذه الحالة هى: (٢ن + ١ + ١).

رباعية الكروموسوم

يكون أحد الكروموسومات فى النباتات الرباعية الكروموسوم Tetrasomics ممثلاً أربع مرات، بينما توجد باقى الكروموسومات فى الحالة الثنائية، والمعادلة العامة لذلك هى: (٢ن + ٢). ونظرًا لوجود أربعة كروموسومات متماثلة .. فإنها غالبًا ما تقترن ببعضها؛ لتكون وحدة رباعية الكروموسوم quadrivalent أثناء الدور الضام من الانقسام الميوزى. ويتوجه – غالبًا – زوج من الكروموسومات – من الوحدة الرباعية الكروموسوم – إلى كل قطب؛ وبذا .. يكون النظام ثابتًا وراثيًا، إلا أن النسب الوراثية التى يتحصل عليها تختلف تمامًا عما فى النباتات ثنائية المجموعة الكروموسومية العادية؛ نظرًا لوجود كل جين على الكروموسوم الزائد ممثلاً أربع مرات. هذا .. وقد تتكون – أحيانًا

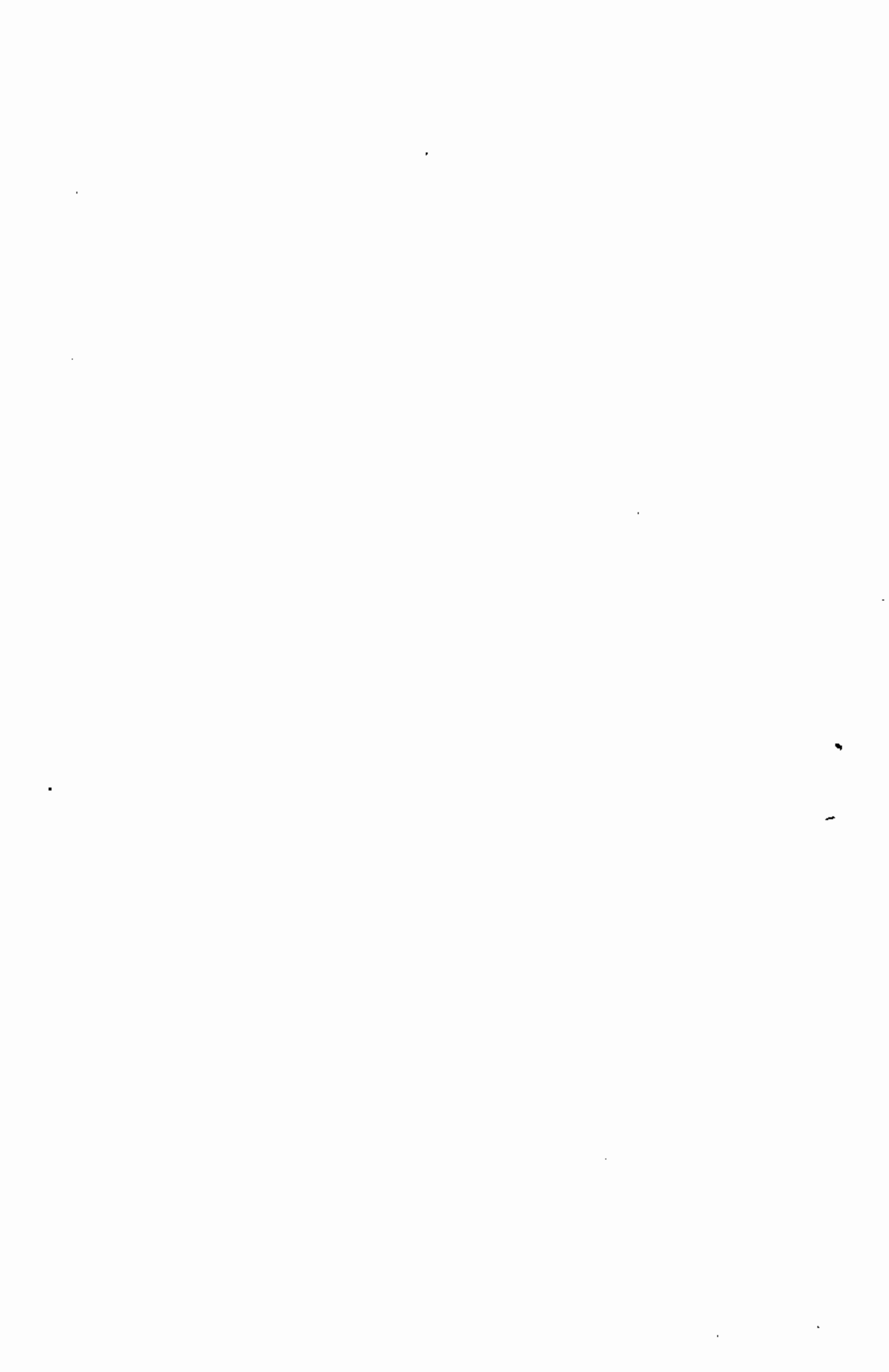
– وحدة ثلاثية الكروموسوم، وأخرى أحادية، وقد تتكون وحدة مستقلة ثنائية الكروموسوم من زوج الكروموسوم الزائد؛ لذا .. فإنه تلاحظ – أحيانًا – نسبة من العقم. وتوجد الحالات الرباعية الكروموسوم بكثرة في النباتات، وتكون مختلفة – مظهريًا – عن قريناتها من النباتات الثنائية المجموعة الكروموسومية العادية، ويطلق عليها اسم Chromosome Addition Lines.

وتوجد حالات رباعية الكروموسوم، يكون فيها زوج الكروموسوم الزائد من نوع نباتي مختلف، وهي التي يطلق عليها اسم Alien Addition Lines وهي تختلف في مظهرها وفي سلوكها السيتولوجي عن النوع الأول (Chromosome Addition Lines)؛ نظرًا لأن زوج الكروموسوم الزائد لا يقترن بأي من الكروموسومات الأخرى أثناء الانقسام الميوزي، وإنما يكون وحدة إضافية ثنائية الكروموسوم.

متعددة الكروموسوم

يحتوي الفرد المتعدد الكروموسوم Polysomic على أكثر من كروموسومين زائدين من أحد كروموسومات الهيئة الكروموسومية، وهي قد تكون خماسية الكروموسوم Pentasomics (٢ن + ٣)، أو سداسية الكروموسوم Hexasomics (٢ن +٤) ... إلخ.

ولمزيد من التفاصيل عن موضوع التعدد الكروموسومي غير التام واستخداماته في مجال تربية النبات .. يراجع Elliott (١٩٥٨)، و Burnham (١٩٦٦)، و Swanson وآخرين (١٩٦٧)، و Peloquin (١٩٨١).



الفصل الثانى عشر

التضاعف الذاتى وأهميته

يندرج التضاعف الذاتى autoploidy ضمن حالات التعدد الكروموسومى التام euploidy، وفيها يشمل التضاعف جميع كروموسومات الهيئة الكروموسومية للنبات؛ وتوجد منه أنواع كثيرة. وبرغم أن نقص عدد الكروموسومات إلى هيئة كروموسومية واحدة كاملة (١ن) يعد اختزالاً، وليس تضاعفاً .. إلا أن حالات النباتات الأحادية هذه تدرج ضمن حالات تعدد المجموعة الكروموسومية التام. ونبين – فيما يلى – مختلف أنواع التعدد الكروموسومى التام.

أحادية المجموعة الكروموسومية

تعريف الحالات الأحادية المجموعة الكروموسومية

تحتوى الخلايا الجسمية للنبات الأحادية المجموعة الكروموسومية monoploids على العدد الأحادى من الكروموسومات (١ن)، ويطلق عليها – بوجه عام – اسم Haploids. هذا .. إلا أن النباتات الأحادية المتحصل عليها من نباتات ثنائية يطلق عليها اسم Monohaploids (وفيها ن = ١س)، بينما يطلق على النباتات الأحادية المتحصل عليها من النباتات الرباعية tetraploids اسم dihaploid (وفيها ن = ٢س)، ويطلق اسم trihaploid على النباتات الأحادية المتحصل عليها من النباتات السداسية hexaploids (وفيها ن = ٣س) ... إلخ.

خصائص النباتات الأحادية

١ – تكون الأفراد الأحادية المجموعة الكرموسومية صغيرة الحجم – عادة – وأضعف نموا من مثيلاتها الثنائية المجموعة الكروموسومية.

٢ – تكون الأفراد الأحادية المجموعة الكروموسومية على درجة عالية من العقم، ويرجع ذلك إلى أن كل كروموسوم يوجد فى هذه النباتات بحالة مفردة؛ وبذلك .. لا

يحدث أى اقتران كروموسومى، ويكـون الإنعـزال الكروموســومى غـير منتظـم، وتحتـوى معظم الجاميطات التى تنتجها النباتات الأحاديــة علـى نقص فـى كروموســوم واحـد أو أكثر؛ لذا .. فإنها تكون غالبًا عديمة الحيوية. هذا .. إلا أن جميع الكروموســومات قـد تتجه – أحيانًا – إلى قطب واحد من قطبـىّ الخليـة فـى الـدور الانفصـالى مـن الانقســام الميوزى، وتتكون بذلك جاميطة طبيعية. ويؤدى تزاوج جاميطتين من هذا النوع إلى تكون فرد ثنائى المجموعة الكروموسومية.

ونظرًا لأن احتمال توجه أى كروموســوم إلى أى مـن قطبـى الخليـة هـو ٠,٥؛ لـذا .. يكون احتمال توجه جميع الكروموسومات فى أثناء الانقســام الميـوزى إلى أى مـن قطبـى الخلية هو $(\frac{1}{2})^{ن}$؛ حيـث تمثـل (ن) عـدد الكروموســومات فـى الهيئـة الكروموســومية؛ وعليه نجد فى نبات كالذرة (وهو يحتوى علــى ١٠ أزواج مـن الكروموســومات) أن هـذا الاحتمال يساوى $(\frac{1}{2})^{10}$، أو جاميطة من كل ١٠٢٤ جاميطة. ويتضح من ذلك لِمَ تكون نسبة العقم عالية فى الأفراد الأحادية المجموعة الكروموسومية، وهى التى تكثر بـالطرق الخضرية كلما أمكن ذلك.

٣ – تكون جميع الجينات فى النباتات الأحادية ممثلـة مـرةً واحـدة؛ ويعنـى ذلـك ظهور الصفات التى تتحكم فيها الآليلات المتنحية. ويوصف التركيب الوراثــى فـى هـذه الحالة بأنه hemizygous. وتعتبر تلك هى الحالة الطبيعيـة فـى النباتـات الدنيئـة، إلا أنها تعد حالة شاذة بالنسبة للنباتات الاقتصادية.

طرق إنتاج النباتات الأحادية المجموعة الكروموسومية

تبلـغ نسـبة النباتـات الأحاديـة التـى تتكـون طبيعيًّـا بـالتوالد البكــرى (*in vivo*) parthenogensis فى الــذرة نحــو ٠,١٪؛ وهـى تتكـون بنمـو إحـدى الخلايـا الأحاديـة بالكيس الجنينى إلى جنين. وقد ينشأ الجنين الأحادى فى أحيـان قليلـة مـن الجاميطـة المذكرة مع سيتوبلازم الجاميطة المؤنثة.

ولمزيد من التفاصيل عن التكوين الطبيعى للنباتات الأحادية المجموعة الكروموسـومية .. يراجع حسن (٢٠٠٥).

وبالإضافة إلى التكوين الطبيعى للنباتات الأحادية بطريق التوالد البكرى، فإنه يمكن استحداثها بأى من الوسائل التالية:

معاملات خاصة لحبوب اللقاح

أمكن إنتاج أجنة أحادية *in vivo* من مبايض الأزهار بعد تعريضها لإحدى المعاملات التالية: تأخير التلقيح – التلقيح بحبوب لقاح معاملة بالإشعاع – التلقيح بحبوب لقاح من أنواع أخرى – تعريض الأزهار لدرجات حرارة منخفضة. وقد أمكن زيادة نسبة النباتات الأحادية (ن) بعد العثور على ما يسمى بالملقحات الفائقة superior pollinators لبعض النباتات؛ مثل الذرة، والبطاطس.

ولقد أمكن إنتاج أجنة أحادية بكثرة فى الشمام بتلقيح الأزهار المؤنثة صباح يوم تفتحها بحبوب لقاح معاملة بأشعة إكس، وينتج هذا التلقيح ثمارًا طبيعية المظهر، تحتوى داخلها على بعض الأجنة الأحادية، بالإضافة إلى الأجنة الثنائية العادية. هذا .. ويلزم التعرف على الأجنة الأحادية المتكونة بعد ثلاثة أسابيع من التلقيح اليدوى، ونقلها إلى بيئة صناعية، وإلا .. فإنها تنهار وتختفى إذا تركت فى الثمار لأكثر من ذلك.

وأمكن تقليل الجهد اللازم للتعرف على هذه الأجنة؛ بجمع البذور من الثمار بعد ٤–٧ أسابيع من التلقيح، وفحصها بجهاز أشعة إكس العادى الذى يستخدم فى الأغراض الطبية. وتكون الأجنة صغيرة جدًّا – قبل ذلك، ويصعب تداولها، بينما تبدأ الأجنة فى الانهيار لو تركت لأكثر من سبعة أسابيع. ويلزم تجفيف الأجنة – جزئيًّا – قبل فحصها؛ حتى لا تبدو معتمة فى الفيلم، مع مراعاة عدم الإفراط فى التجفيف؛ حتى لا تفقد حيويتها، ويكون التجفيف على ٤°م لمدة ١٥ ساعة. وتوضع البذور – بعد تجفيفها – على لوح من البوليسترين سمكه ٥ مم، وتغطى بشريط لاصق شفاف، ثم تعرض لأشعة إكس. وتبدو البذور – التى تحتوى على أجنة أحادية – أقل عتمة على الفيلم من البذور التى تحتوى على أجنة ثنائية (Savin وآخرون ١٩٨٩).

كذلك أمكن إنتاج أجنة أحادية فى عدد من أصناف الكوسة *Cucurbita pepo* بتعريض حبوب اللقاح لجرعات من أشعة جاما تراوحت بين ٢٥، و ٥٠ Gy، وقد

حُصل من تلك الأجنة الأحادية على نباتات أحادية العدد الكروموسومى (Kurtar وآخرون ٢٠٠٢). كما حُصل على أجنة أحادية من البطيخ استعمل فى إنتاجها أشعة جاما بجرعات تراوحت بين ٢٠٠، و ٣٠٠ Gy (Sari وآخرون ١٩٩٤). وقد كانت بداية استخدام هذه الطريقة فى إنتاج النباتات الأحادية فى القرعيات فى كل من البطيخ، والقاوون، والخيار (عن Sari وآخرين ١٩٩٤).

أعطت معاملة حبوب لقاح الكنتالوب بأشعة جاما بجرعة مقدارها ٠,٦ أو ١,٢ kGy نسبة عالية من النسل الأحادى المجموعة الكروموسومية عندما استخدم ذلك اللقاح فى تلقيح مياسم أزهار غير معاملة بالأشعة، حيث أمكن بتلك المعاملة الحصول على ٣٧ جنينًا أحاديًا، و ٧٤ جنينًا ثنائيًا من ثمار كنتالوب بعمر ٤ أسابيع لدى زراعة تلك الأجنة فى بيئة صناعية (Ficcadenti وآخرون ١٩٩٥).

إنتاج نباتات أحادية من مزارع حبوب اللقاح والبويضات

يذكر Chu (١٩٨٢) أنه أمكن – حتى عام ١٩٨٢ – إنتاج نباتات أحادية من حبوب اللقاح فيما لا يقل عن ١١١ نوعًا نباتيًا، ينتمى معظمها إلى العائلات الباذنجانية، والنجيلية، والصليبية. ومنها بعض الأنواع الخشبية؛ مثل جنسى؛ الحمضيات *Citrus*، والعنب *Vitis*. ويعطى المرجع قائمة كاملة بهذه الأنواع.

وللتفاصيل المتعلقة بهذا الموضوع .. يراجع Jain وآخرين (١٩٩٦، و ١٩٩٨).

استبعاد كروموسومات أحد النوعين فى الهجن النوعية

أمكن إنتاج نباتات أحادية من الشعير بأعداد كبيرة من خلال التهجين بين النوع المزروع *Hordeum vulgare*، والنوع البرى المعمر *H. bulbosum*، وذلك من خلال حدوث فقد لكروموسومات النوع البرى من أجنة الهجين النوعى، وهى الظاهرة التى عرفت باسم استبعاد الكروموسومات chromosome elemination، وبمضاعفة كروموسومات تلك النباتات الأحادية الناتجة أمكن الحصول على سلالات ثنائية أصيلة بسهولة. كما تعرف تلك العملية لإنتاج النباتات الأحادية فى الشعير باسم طريقة بلبوزم the Bulbosum method، وذلك فى إشارة إلى النوع البرى *H. bulbosum*.

وعلى الرغم من أن ظاهرة استبعاد الكروموسومات تحدث فى أجنة هذا التهجين النوعى سواء استعمل النوع المزروع كأم، أم كأب فى الهجين، إلاّ أنه يفضل استعماله كأم نظرًا لأن لسيتوبلازم النوع البرى تأثيرات ضارة على نمو الشعير.

ويتم تحفيز تكوين الحبوب المحتوية على الأجنة الأحادية بفصل الخلفات التى تحتوى على الأزهار الملقحة عن النبات ووضعها فى محلول هوجلند معدل، ويعقب ذلك – بعد يوم واحد إلى ثلاثة أيام – وضع نقطة من محلول حامض الجبرلليك بتركيز ٧٥ جزءًا فى المليون فى كل زهرة ملقحة، وتستمر تلك الإضافة لمدة يومين إلى ثلاثة أيام متوالية. وبعد نحو أسبوع آخر تفصل الأجنة وتزرع فى بيئة نمو مناسبة. وبعد وضوح نمو البادرات الأحادية فإنها تعامل فى مرحلة نمو الورقة الثانية إلى الثالثة بالكولشيسين بتركيز ٠,١٪ لمدة خمس ساعات، ثم تغسل البادرات وتنمىّ فى أصص.

ومن بين الحالات الأخرى التى عرفت فيها ظاهرة استبعاد الكروموسومات، ما يلى:

- اكتشفت ظاهرة استبعاد الكروموسومات فى عديد من الهجن النوعية بين الشعير المزروع وأنواع أخرى من الجنس *Hordeum*.
- عرفت الظاهرة – كذلك – فى الهجن النوعية فى الجنس *Nicotiana*.
- أمكن أيضًا الحصول على نباتات فردية من القمح بتهجينه – كأم – مع الشعير البرى *H. bulbosum*.
- كذلك أمكن إنتاج نباتات أحادية من التهجينات بين الجنس *Aegilops* – كأم – مع صنف القمح السداسى Salmon (وهو: *Triticale*-derived hexaploid) كأب، حيث كان حوالى ٣٠٪ من النسل الناتج من هذا التهجين أحادى العدد الكروموسومى (عن Fehr ١٩٨٧).

هذا .. ومن بين الطرق المتاحة لإنتاج نباتات أحادية العدد الكروموسومى، فإن مزارع المتوك، والتخلص من الكروموسومات من خلال التلقيحات البعيدة (طريقة الـ bulbosum) هما أكثر الطرق استعمالاً (عن Khush & Virmani ١٩٩٦).

أوجه الاستفادة من النباتات الأحادية

إن من أهم استخدامات النباتات الأحادية المجموعة الكروموسومية فى مجال تربية النبات، ما يلى:

١ - الحصول على سلالات ثنائية أصيلة تمامًا بمجرد مضاعفة عدد كروموسوماتها باستعمال الكولشيسين:

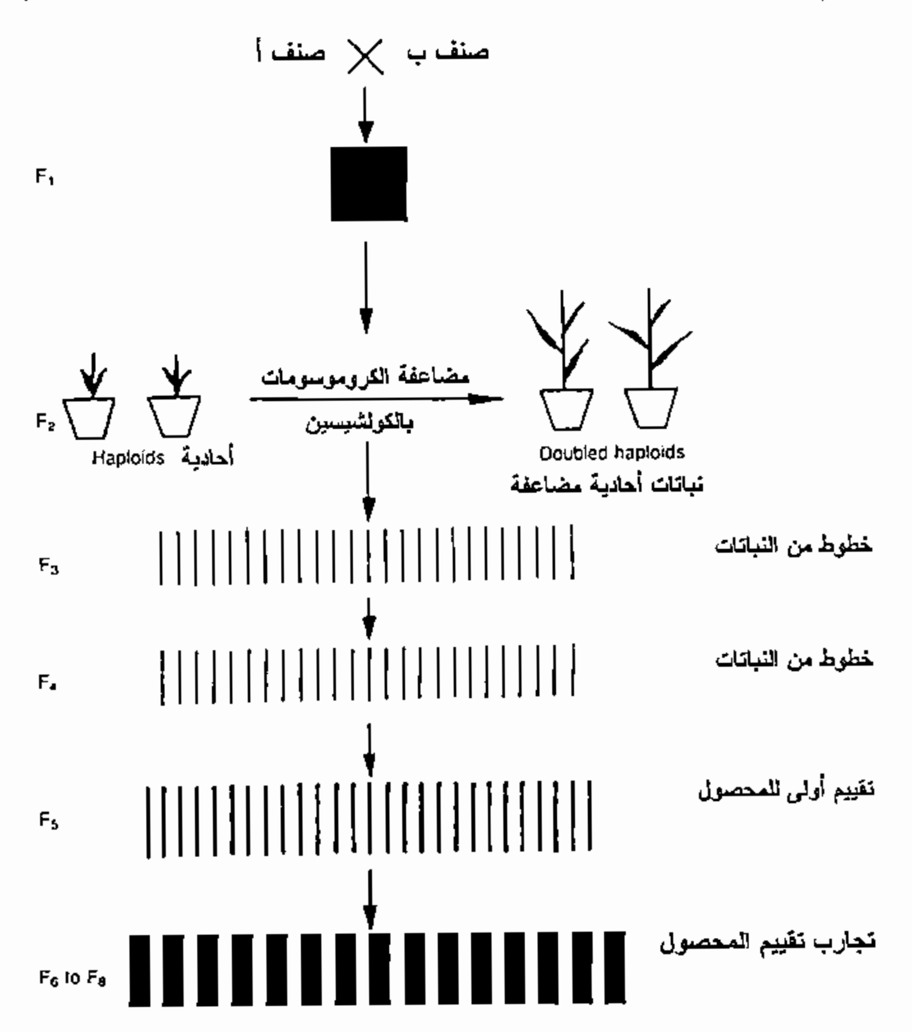
تؤدى مضاعفة النباتات الأحادية بالكولشيسين إلى إنتاج نباتات ثنائية أصيلة، قد يمكن الاستفادة منها فى إنتاج الهجن الفردية والزوجية، دونما حاجة لعمليات التربية الداخلية، التى تستغرق عدة سنوات، وقد تستعمل كأصناف جديدة محسنة؛ كبعض أصناف الشعير، و التبغ، والأرز، والقمح، التى أنتجت بمضاعفة نباتات أحادية.

يتم بموجب هذه الطريقة - التى تعرف باسم double-haploid procedure - إنتاج نباتات أحادية (من مزارع حبوب لقاح نباتات الجيل الأول الهجين، أو بأى من الطرق الأخرى)، ثم مضاعفة أعداد كروموسومات نباتات الجيل الثانى الأحادية المتنحية باستعمال الكولشيسين لتصبح ثنائية diploid (شكل ١٢-١)، وتحصد منها البذور. تزرع بذور الجيل الثالث (نسل كل نبات على حدة)، وتحصد البذور من النباتات المتفوقة، ويكرر ذلك فى الجيل الخامس، مع إجراء تجارب أولية لتقييم المحصول فيه، ثم استمرار تجارب تقييم المحصول فى الأجيال من السادس إلى الثامن. واعتبارًا من الجيل التاسع وحتى الجيل العاشر يتم إكثار وتوزيع السلالات المتفوقة كأصناف جديدة.

هذا .. وتزداد أهمية النباتات الأحادية فى إنتاج نباتات ثنائية أصيلة فى الأنواع التى يصعب فيها إجراء التلقيح الذاتى بسبب وجود ظاهرة عدم التوافق الذاتى فيها.

تكون النباتات الأحادية المضاعفة أصيلة وراثيًّا فى جميع المواقع الجينية، ولا توجد أية ضرورة لتقييم أجيال انعزالية لأنها لا توجد أصلاً. ويمكن أن تصل السلالات الأحادية المضاعفة إلى مرحلة التقييم الأولى للمحصول مبكرة بنحو جيلين أو ثلاثة أجيال عما فى طريقتى انتخاب النسب، وانتخاب التجميع. وكما فى طريقة التحدر من بذرة واحدة، فإن الأجيال المبكرة فى طريقة مضاعفة النباتات الأحادية لا تعرض لظروف بيئية قاسية فى الحقل. كما أن الانتخاب فيها يكون شديدًا وليس كما طريقتى انتخاب النسب وانتخاب التجميع التى تزرع فيها الأجيال المبكرة بأعداد كبيرة.

هذا .. ولقد أثيرت اعتراضات على الأصناف التي تنتج من مضاعفة كروموسومات النباتات الأحادية؛ نظرًا لأنها تكون أصيلة بنسبة ١٠٠٪، ومتجانسة وراثيًا بنسبة ١٠٠٪؛ ومن ثم تكون شديدة الحساسية للتقلبات البيئية (عن Poelham & Sleper ١٩٩٥).



شكل (١٢-١): طريقة إنتاج النباتات الثنائية بمضاعفة كروموسومات النباتات الأحادية.

٢ – تفيد النباتات الأحادية – المتحصل عليها من النباتات المتضاعفة – في إجراء الدراسات الوراثية للصفات الكمية؛ مثل دراسات التباين الوراثي، والارتباط، وعدد الجينات ومواقعها؛ ذلك لأن اختزال عدد كروموسومات النباتات الرباعية التضاعف –

مثل البطاطس – إلى النصف يجعلها ثنائية المجموعة الكروموسومية، مما يسهل دراسة وراثة الصفات فيها (عن Dunwell ١٩٨٥).

٣ – إن أهم وأبرز استعمال للنباتات الأحادية المضاعفة هو فى رسم الخريطة الجينومية، حيث تشكل مادة وراثية ممتازة لإعطاء معلومات دقيقة عن موقع الجينات الرئيسية، ومواقع جينات الصفات الكمية QTLs الهامة (عن Khush & Virmani ١٩٩٦).

٤ – تفيد النباتات الأحادية فى دراسات الوارثة السيتولوجية للنباتات المتضاعفة، حيث يمكن عن طريقها الحصول على كافة الـ monosomics الممكنة للنوع.

٥ – يمكن عن طريق النباتات الأحادية نقل الجينات من نوع لآخر، وإحلال كروموسوم من أحد الأنواع محل كروموسوم آخر فى نوع مختلف.

٦ – سهولة الانتخاب للآليلات السائدة فى النباتات الأحادية، بخلاف الحال فى النباتات الثنائية التى قد تكون خليطة أو أصيلة فى الصفة السائدة، الأمر الذى لا يمكن تحديده إلاّ باختبار النسل.

٧ – يمكن الاستفادة من النباتات الأحادية فى التعرف على الطفرات المتنحية التى تظهر فيها – مباشرة – دونما حاجة إلى إنتاج الجيل الطفرى الثانى (M_2)؛ لأن الطفرة تكون فى حالة hemizygous. ويكون من الأفضل معاملة مزارع الخلايا الأحادية، وإجراء التقييم والانتخاب وهى على هذه الصورة. وقد أمكن بهذه الطريقة التعرف على طفرات مقاومة لمضادات الحيوية، وشبيهات الأحماض الأمينية، ومبيدات الحشائش. ويعاب على هذه الطريقة فى إنتاج الطفرات أن استعمالها مقصور على الأنواع القليلة التى يمكن أن تبقى مزارع خلاياها الأحادية على حالتها، مع إمكان دفعها إلى تكوين نباتات أحادية.

متعددة المجموعة الكروموسومية ذاتيًا

تحتوى النباتات المتعددة المجموعة الكروموسومية ذاتيًا – أو الذاتية التضاعف – Autopolyploids أو Autoploids على مضاعفات كاملة للهيئة الكروموسومية، كأن تكون ٣س، أو ٤س ... إلخ.

وتأخذ الدرجات المختلفة من التضاعف أسماء مختلفة كما يلى:

عدد مضاعفات الهيئة الكروموسومية (س)	الاسم	
٣س	ثلاثية المجموعة الكروموسومية	Triploids
٤س	رباعية المجموعة الكروموسومية	Tetraploids
٥س	خماسية المجموعة الكروموسومية	Pentaploids
٦س	سداسية المجموعة الكروموسومية	Hexaploids
٧س	سباعية المجموعة الكروموسومية	Heptaploids
٨س	ثمانية المجموعة الكروموسومية	Octaploids

انتشار ظاهرة التضاعف الذاتى

توجد حالات التضاعف الذاتى فى كثير من النباتات، خاصة تلك التى تتكاثر خضريًا، لأنها غالبًا ما تكون على درجة عالية من العقم.

ومن بين النباتات الاقتصادية الهامة المتضاعفة ذاتيًا كل من: البطاطس، والبن، والبرسيم الحجازى، والفول السودانى وجميعها رباعية التضاعف، والبطاطا وهى سداسية التضاعف.

ويقدر أن نحو ٢/١ إلى ٣/١ أنواع النباتات مغطاة البذور متضاعفة، وتختلف نسبة تلك الأنواع باختلاف العائلات النباتية، وهى تصل إلى نحو ٢٣٪ فى البقوليات، وحوالى ٧٠٪ فى الأنواع البرية من النجيليات؛ إلا أن معظم النباتات المتضاعفة طبيعيًا تعد هجينية التضاعف (عن Poehlman & Sleper ١٩٩٥).

ميكانيكية ظهور النباتات المتضاعفة ذاتياً فى الطبيعة

غالبًا ما تتكون النباتات المتضاعفة ذاتيًا فى الطبيعة باتحاد جاميطات غير مختزلة؛ وهى التى تتكون – طبيعيًا – بنسب منخفضة.

وتتكون حبوب اللقاح (وكذلك البويضات) الثنائية العدد الكروموسومى (٢ن) – بصورة طبيعية – بسبب حدوث اختلافات فى الانقسام الميوزى. وعلى الرغم من أهمية تلك الجاميطات الثنائية فى إنتاج نباتات متضاعفة إلا أنها تمر – عادة – دون

اكتشافها؛ وبذا .. لا يُستفاد منها، علمًا بأن النباتات المتضاعفة التى تنتج من اتحاط جاميطتين ثنائيتين تكون أفضل وأقوى نموًا عن تلك التى تنتج عن مضاعفة العدد الكروموسومى بالكولشيسين بالنظر إلى أن التضاعف بالطريقة الأخيرة ينتج عنه مزيدًا من الأصالة الوراثية، وهو أمر يؤدى إلى حدوث تدهور فى قوة النمو.

ولقد أمكن التوصل إلى طريقة سهلة لتمييز وفصل حبوب اللقاح غير المختزلة العدد الكروموسومى فى البطاطس اعتمادًا على سرعة ترسيبها (velocity sedimentation) عندما تكون فى مخلوط من حبوب اللقاح؛ نظرًا لأنها تكون أكبر حجمًا وأكبر وزنًا (Simon & Sanford ١٩٩٠).

السلوك السيتولوجى للنباتات المتضاعفة ذاتيًا

يتكون فى أثناء الانقسام الاختزالى فى النباتات الذاتية التضاعف Autoploids وحدات كروموسومية متعددة الكروموسوم multivalents، بدلاً من الوحدات الثنائية الكروموسوم bivalents، التى تتكون فى النباتات الثنائية المجموعة الكروموسومية؛ فنجد فى النباتات الثلاثية المجموعة الكروموسومية أن معظم الكروموسومات تتقارن فى وحدات ثلاثية الكروموسوم trivalents، مع تكون بعض الوحدات الأحادية الكروموسوم univalents، وبعض الوحدات الثنائية الكروموسوم، ونجد فى النباتات الرباعية المجموعة الكروموسومية أن معظم الكروموسومات تظهر أثناء الانقسام الاختزالى على شكل وحدات رباعية الكروموسوم quadrivalents، أو ثنائية الكروموسوم، مع تكون بعض الوحدات الأحادية والثلاثية الكروموسوم ... إلخ. ويكون التقارن بين الكروموسومات عشوائيًا تمامًا Randon Paring مادام التضاعف الكروموسومى من النوع الذاتى، وكانت الكروموسومات متماثلة تمامًا Homologus. هذا .. إلا أنه قد تظهر درجات مختلفة من التقارن التفاضلى Preferential Paring، أو الاختيارى Selective Pairing فى حالة الأفراد المتعددة المجموعة الكروموسومية الشبيهة بالثنائية amphidiploids التى تكون فيها كروموسومات الأبوين متشابهة جزئيًا Homoelogus، كما سيتضح عند بيان السلوك السيتولوجى للنباتات الهجينية التضاعف.

وتتلخص عملية الاقتران الكروموسومى فى الوحدات الرباعية الكروموسوم (فى الأفراد

الرباعية المجموعة الكروموسومية) فيما يلي: تظهر الكروموسومات الأربعة المتماثلة في الدور القلادي، ثم تتصل في أزواج في الدور التزاوجي. يبدأ الاتصال عند عدة مواقع على امتداد الكروموسومات؛ وبذلك .. يقترن كل كروموسوم من الكروموسومات الأربعة بكروموسوم آخر منها عند مواقع مختلفة. ومع نهاية الدور الضام .. يكون الكروموسوم الواحد قد اقترن مع كروموسومات مختلفة (شكل ١٢-٢)، وانقسم كل كروموسوم منها إلى كروماتيدتين، وتكون قد تكونت الكيازمات chiasmata نتيجة للعبور بين الكروموسومات المتقارنة. ويؤدى الاختلاف في عدد ومواقع الكيازمات إلى ظهور عدة أشكال مميزة (مثل الوحدات الثنائية الكروموسوم، والسلاسل، والحلقات) في الدور الانفراجي.

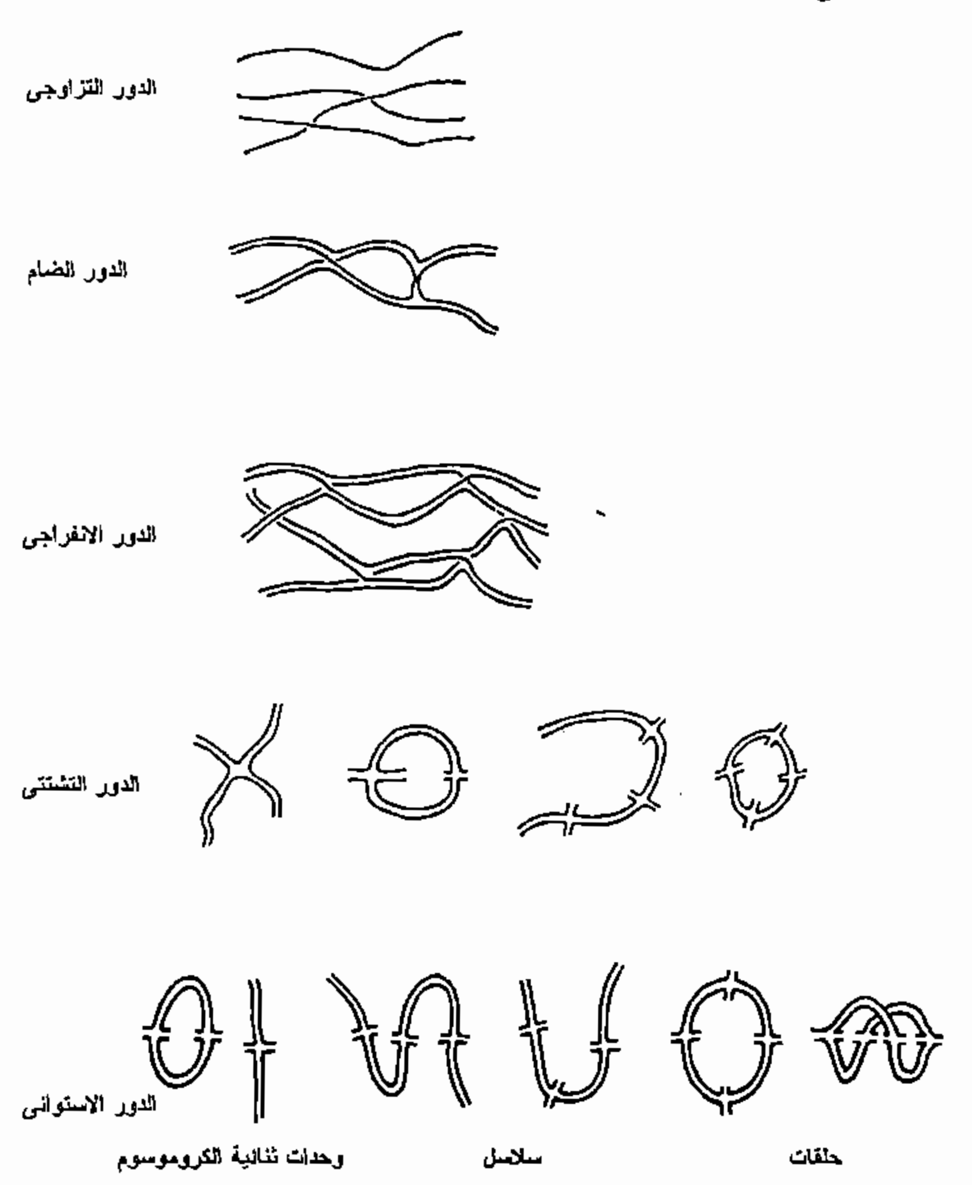
وبعد أن تتعلق الوحدات الرباعية الكروموسوم بخيوط المغزل في دور الوضع المتوسط الأول .. فإن الانفصال قد يحدث بحيث تذهب الكروموسومات المتجاورة (في أي من الأشكال المميزة السابقة) إلى نفس القطب، أو إلى أقطاب مختلفة. ولكن قد تتكون وحدتان ثنائيتا الكروموسوم إن لم تتكون كيازمتان بين أزواج الكروماتيدات؛ وحينئذ .. يتحتم على كروموسومي كل وحدة ثنائية الكروموسوم أن يتوزعا على قطبين مختلفين في الدور الانفصالي الأول.

وتجدر الإشارة إلى أن بعض الأنواع المعروفة الرباعية المجموعة الكروموسومية (مثل البطاطس والبرسيم الحجازي) تظهر بها أحيانًا درجة من التقارن الاختياري Selective Pairing. ويرجع ذلك إلى تراكم تغيرات طفيفة حدثت في الكروموسومات منذ فترات زمنية بعيدة، برغم أنها كانت في الأصل تامة التماثل. ويعد التقارن الاختياري في مثل هذه النباتات الرباعية المجموعة الكروموسومية انحرافًا نحو العودة إلى الحالة الثنائية diploidization.

السلوك الوراثي للنباتات المتضاعفة ذاتيًا

يختلف السلوك الوراثي للنباتات الذاتية التضاعف عن النباتات الثنائية، بسبب احتمال وجود أكثر من آليلين لكل جين، ولتكوين وحدات متعددة الكروموسوم. وحتى

إذا وجد آليلان فقط للجين .. فإن عدد التراكيب الوراثية الممكنة فى نبات رباعى المجموعة الكروموسومية (وهى درجة منخفضة نسبيًا من التضاعف) يصبح خمسة مقارنة بثلاثة فقط فى النباتات الثنائية المجموعة الكروموسومية.



شكل (١٢-٢): أشكال الوحدات الرباعية الكروموسوم خلال الانقسام الميوزى الأول (يراجع المتن للتفاصيل).

ويطلق على التراكيب الوراثية الخمسة الممكنة في حالة وجود أليلين، أحدهما سائد (A)، والآخر مُتنحٍ (a) الأسماء التالية:

المصطلح	التركيب الوراثي
Nulliplex	aaaa
Simplex	Aaaa
Duplex	AAaa
Triplex	AAAa
Quadriplex	AAAA

يلاحظ أن نسبة الآليلات السائدة إلى المتنحية تختلف في النباتات الـ triplex والـ duplex، والـ simplex عن النسب المعهودة في النباتات الثنائية المجموعة الكروموسومية، إلا أن الشكل الظاهري للفرد الخليط يتوقف على درجة السيادة بين الآليلات؛ ففي حالة السيادة التامة .. لا يظهر سوى نوعين من الأشكال المظهرية، بينما يظهر عدد أكبر من الأشكال المظهرية في حالات السيادة غير التامة. ويصل عدد الأشكال المظهرية إلى خمسة عند غياب السيادة، وفي حالات التأثير الإضافي للجين.

ويمكن تمييز التراكيب الوراثية المكنة في نسل كل حالة إذا ما وجدت أربعة آليلات عند الموقع الجيني المعني، مثل: a، و b، و c، و d .. وقد رمز إليها جميعًا بحروف صغيرة لتجنب أي دلالة أو إيحاء بالسيادة. ففي هذه الحالة يحتمل وجود أربعة تراكيب وراثية مختلفة للـ nulliplex، هي aaaa، و bbbb، و cccc، و dddd، بينما لا يتوفر سوى qudriplex واحد هو abcd. وبالمقارنة يمكن تواجد أعداد كبيرة من التوافقات المختلفة للأليلات في كل من الـ simplex، والـ duplix، و triplex.

تعرف التراكيب الوراثية التي تحتوى على ثلاثة آليلات مختلفة بأنها trigenic (وجميعها triplexes)، بينما يعرف التركيب الوراثي الذي يحتوى على أربعة آليلات مختلفة – الـ qudriplex – بأنه tetragenic.

وتكون الجاميطات التي ينتجها النبات الرباعي التضاعف ذاتيًا أحادية مزدوجة العدد الكروموسومي dihaploid (2x). ويتباين عدد الأنواع المختلفة من الجاميطات التي

يمكن أن ينتجها كل نبات من نوع واحد فقط فى الـ nulliplexes إلى ستة أنواع فى الأفراد الـ tetragonics، كما يلى:

التركيب الوراثى	أنواع الجاميطات الممكنة
(aaaa) Nulliplex	aa
(aaab) Simplex	aa + ab
(aabb) Duplex	aa + 4ab + bb
(aabc) Trigenic	aa + 2ab + 2ac + bc
(abcd) tetragenic	aa + ac + ad + bc + bd + cd

وعند إجراء التلقيح الذاتى لأى نبات رباعى التضاعف ذاتيًا، فإن التراكيب الوراثية التى ينتجها تكون عبارة عن مربع أنواع الجاميطات الخاصة به، كما يلى (عن Fehr ١٩٨٧):

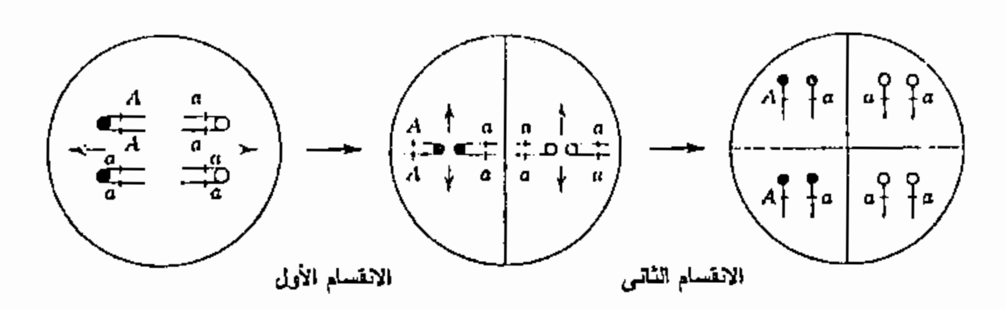
النبات الملقح ذاتيا	مربع الجاميطات	التراكيب الوراثية المنتجة
aaaa	$(aa)^2$	nulliplex جميعها
aaab	$(aa+ab)^2$	nulliplex ١/٤ + simplex ١/٢ + duplex ١/٤
aabb	$(aa+4ab+bb)^2$	nulliplex ١/١٨ + simplex ٤/٩ + duplex ١/٢
aabc	$(aa+2ab+2ac+bc)^2$	+ trigenic ٢/٩ + duplex ١/٤ + trigenic ١/٢ duplex ١/٩
abcd	$(ab+ac+ad+bc+bd+cd)^2$	duplex ١/٩ + trigenic ٢/٣ + tetragenic ١/٩

هذا .. ويتوقف نسب التراكيب الوراثية التى يتوقع ظهورها فى نسل كل حالة على كل من التركيب الوراثى لجيل الآباء، وعلى مدى كون انعزال الجينات يحدث فى أثناء الانقسام الاختزالى على مستوى التوزيع الحر للكروموسومات، أم للكروماتيدات. وسنفترض – للتبسيط – أن التركيب الوراثى للآباء simplex أى Aaaa، ثم نستعرض النسب المتوقعة فى كل من حالتى التوزيع الحر.

أولاً: التوزيع الحر للكروموسومات

يحدث التوزيع الحر للكروموسومات Random Chromosome Assortment عندما تفشل الكروموسومات فى تكوين وحدة رباعية الكروموسوم، أو عندما يكون الجين

قريبًا بدرجة كبيرة من موضع السنترومير؛ فنجد أن كل كروموسوم يحمل في أثناء الانقسام الاختزالي آليلين متشابهين على كروماتيدتية، ويذهب الآليلان - معًا - إلى أحد أقطاب الخلية في أثناء الانقسام الاختزالي الأول؛ لأنهما يكونان متصلين بنفس السنترومير، ثم يتوزع الآليلان إلى أقطاب مختلفة في الانقسام الاختزالي الثاني؛ وعليه .. فلا يمكن أن يتواجد الآليلان - معًا - في جاميطة واحدة بعد الانقسام (شكل ١٢-٣). ولتوضيح ذلك .. نفترض أن الآليلات التي يحملها النبات الـ simplex (وهي آليل واحد سائد A، وثلاثة متنحية a) تتضاعف عند تكوين الكروماتيدات (أثناء الانقسام الاختزالي)؛ لتصبح (A_1، و A_2)، و (a_3، و a_4)، و (a_5، و a_6)، و (a_7، و a_8)، علمًا بأن كل زوج منها (داخل قوسين) يمثل آليلين متماثلين على كروماتيدين متماثلتين لكروموسوم واحد.



شكل (١٢-٣): انعزال الجينات من وحدة رباعية الكروموسوم quadrivalent لنبات simplex (Aaaa). يعتمد الانعزال على التوزيع الحر للكروموسومات، لوجود الجين قريبًا جدًا من السنترومير وانعدام العبور في هذه المنطقة.

ونظرًا لأن كل زوج من الآليلات ينتهي به الأمر في جاميطات مختلفة؛ لذا .. فإن كلاً من A_1، و A_2 يكون له نفس الفرصة لأن ينعزل مع أي من a_3، أو a_4، أو a_5، أو a_6، أو a_7، أو a_8، ولكنهما - أي A_1، و A_2 - لا يمكن أن يتواجدا معًا في جاميطة واحدة .. وهكذا الأمر بالنسبة لأزواج الآليلات الأخرى. وتكون نتيجة ذلك أن تنعزل الجينات في الجاميطات - على أساس التوزيع الحر للكروموسومات - كما هو مبين في شكل (١٢-٤). ويتبين من الشكل أنه يتكون نوعان من الجاميطات، هما: Aa، و aa بنسبة ١:١. ويمكن بتحليل مماثل إثبات أن النباتات الـ duplex (AAaa) ينتج ثلاثة

أنواع من الجاميطات هي AA، و Aa، و aa بنسبة ١:٤:١، وأن triplex (AAAa) ينتج نوعين من الجاميطات هما AA، و Aa بنسبة ١:١.

	A_1	A_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8
A_1			A_1a_3	A_1a_4	A_1a_5	A_1a_6	A_1a_7	A_1a_8
A_2			A_2a_3	A_2a_4	A_2a_5	A_2a_6	A_2a_7	A_2a_8
a_3					A_3a_5	A_3a_6	A_3a_7	A_3a_8
a_4					A_4a_5	A_4a_6	A_4a_7	A_4a_8
a_5							A_5a_7	A_5a_8
a_6							A_6a_7	A_6a_8
a_7								
a_8								

شكل (١٢-٤): تكوين الجاميطات في نبات **simplex** في حالة التوزيع الحر للكروموسومات.

وتحسب نسب التراكيب الوراثية المتوقعة بعد ذلك كما يلي:

١ - في حالة الـ Simplex:

		الجاميطات المذكرة	
		1 Aa	1 aa
الجاميطات المؤنثة	1 Aa	1 AAaa	1 Aaaa
	1 aa	1 Aaaa	1 aaaa

أي يتوقع أن تكون التراكيب الوراثية ونسبها كما يلي : ١ AAaa: ٢ Aaaa: ١ aaaa، وتكون الأشكال المظهرية المتوقعة في حالة السيادة التامة هي ٣ سائد : ١ متنح.

٢ - في حالة الـ duplex:

		الجاميطات المذكرة		
		1 AA	4 Aa	1 aa
الجاميطات المؤنثة	1 AA	1 AAAA	4 AAAa	1 AAaa
	4 Aa	4 AAAa	16 AAaa	4 Aaaa
	1 aa	1 AAaa	4 Aaaa	1 aaaa

أى يتوقع أن تكون التراكيب الوراثية ونسبها كما يلى: ١ AAAA ٨: AAAa ١٨: AAaa ٨: Aaaa ١: aaaa. وتكون الأشكال المظهرية المتوقعة فى حالة السيادة التامة هى ٣٥ سائد: ١ متنح.

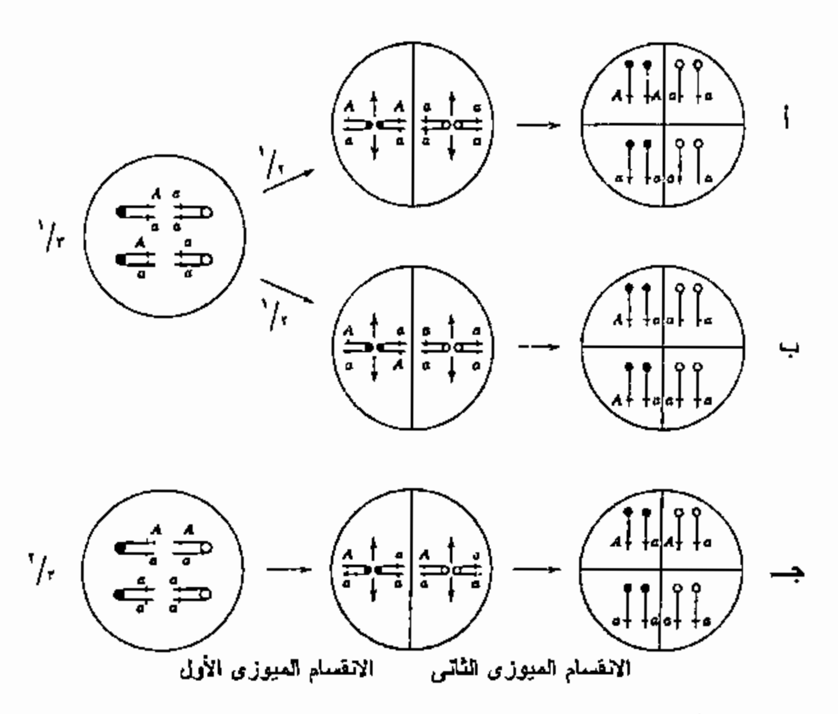
٣ – فى حالة triplex:

		الجاميطات المذكرة	
		1 AA	1 Aa
الجاميطات المؤنثة	1 AA	1 AAAA	1 AAAa
	1 Aa	1 AAAa	1 AAaa

أى يتوقع أن تكون التراكيب الوراثية ونسبها كما يلى: ١ AAAA ٢: AAAa ١: AAaa. وتكون جميع الأشكال المظهرية سائدة فى حالة السيادة التامة.

ثانياً: التوزيع الحر للكروماتيدات

إذا تكونت وحدات رباعية الكروموسوم مع وجود الجينات بعيدة عن السنترومير بدرجة تسمح بحدوث عبور بين موقع الجين والسنترومير (حالة التوزيع الحر للكروماتيدات Random Chromatid Assortment .. فإن ذلك يعطى فرصة متكافئة لأن يتواجد أى آليل مع أى آليل آخر، بما فى ذلك أزواج الآليلات التى توجد على الكروماتيدات الشقيقة (شكل ١٢–٥). وتتكون الجاميطات على النحو المبين فى شكل (١٢–٦) من كل نبات simplex (Aaaa)، بفرض حدوث عبور بنسبة ٥٠٪، علمًا بأن كل زوج من الآليلات (A_1، و A_2)، و (a_3، و a_4)، و (a_5، و a_6)، و (a_7، و a_8) – داخل قوسين – يمثل آليلين متماثلين على كروماتيتين متماثلتين لكروموسوم واحد. ويتبين من الشكل أنه يتكون ثلاثة أنواع من الجاميطات هى AA، و Aa، و aa بنسبة ١: ١٢: ١٥. ويمكن بتحليل مماثل إثبات أن النباتات الـ duplex (AAaa) ينتج الجاميطات AA، و Aa، و aa بنسبة ٣: ٨: ٣، وأن الـ triplex (AAAa) ينتج الجاميطات AA، و Aa، و aa بنسبة ١٥: ١٢: ١.



شكل (١٢-٥): تكوين الجاميطات من وحدة رباعية الكروموســوم لنبــات Simplex (Aaaa) يحدث فيه عبور بين الكروموسوم الحامل للآليل السائد وكرموسوم آخر. ينتج مــن هذا العبور كروموسومين Aa وآخرين aa. ينعزل الكروموسومان Aa إلى نفــس القطب فى الانقسام الاختزالى الأول فى ثلث الحالات (الانعزال العلوى)، وإلى أقطاب مختلفة فى ثلثى الحالات (الانعزال السفلى). وعندما ينتهى بهم الأمر فى القطب نفســه فى كل من الانقســامين الاختزالين الأول والثانى (الحالة أ) .. فإن ذلك يعنى تكــون جاميطات أصيلة. أما تكوين الجاميطات من الوحدات الرباعية الكروموسوم للنباتات الـ duplex فيكون أكثر تعقيدًا؛ بسبب كثرة التوافيق الممكنة.

	A_1	A_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8
A_1		A_1A_2	A_1a_3	A_1a_4	A_1a_5	A_1a_6	A_1a_7	A_1a_8
A_2			A_2a_3	A_2a_4	A_2a_5	A_2a_6	A_2a_7	A_2a_8
a_3				a_3a_4	a_3a_5	a_3a_6	a_3a_7	a_3a_8
a_4					a_4a_5	a_4a_6	a_4a_7	a_4a_8
a_5						a_5a_6	a_5a_7	a_5a_8
a_6							a_6a_7	a_6a_8
a_7								a_7a_8
a_8								

شكل (١٢-٦): التركيب الوراثى للجاميطات التى يكونها نبات Simplex (Aaaa) على أســاس التوزيع الحر الكروماتيدات (يراجع المتن للتفاصيل).

وتحسب نسبة التراكيب الوراثية المتوقعة بعد ذلك كما يلى،

١ – فى حالة الـ simplex:

		الجاميطات المذكرة		
		1 AA	12 Aa	15 aa
الجاميطات المؤنثة	1 AA	1 AAAA	12 AAAa	15 AAaa
	12 Aa	12 AAAa	144 AAaa	180 Aaaa
	15 aa	15 AAaa	180 Aaaa	225 aaaa

أى يتوقع أن تكون التراكيب الوراثية ونسبها كما يلى:

quadriplex	AAAA	بنسبة ١
triplex	AAAa	بنسبة ٢٤
duplex	AAaa	بنسبة ١٧٤
simplex	Aaaa	بنسبة ٣٦٠
nulliplex	aaaa	بنسبة ٢٢٥

وتكون الأشكال المظهرية المتوقعة فى حالة السيادة التامة هى ٥٥٩ سائدًا: ٢٢٥ متنحيًا، أو حوالى ٢,٤٨ : ١.

٢ – فى حالة الـ duplex:

		الجاميطات المذكرة		
		3 AA	8 Aa	3 aa
الجاميطات المؤنثة	3 AA	9 AAAA	24 AAAa	9 AAaa
	8 Aa	24 AAAa	64 AAaa	24 Aaaa
	3 aa	9 AAaa	24 Aaaa	9 aaaa

أى يتوقع أن تكون التراكيب الوراثية ونسبها كما يلى:

quadriplex	AAAA	بنسبة ٩
triplex	AAAa	بنسبة ٤٨
duplex	AAaa	بنسبة ٨٢
simplex	Aaaa	بنسبة ٤٨
nulliplex	aaaa	بنسبة ٩

وتكون الأشكال المظهرية المتوقعة فى حالة السيادة التامة هى ١٧٨ سائدًا: ٩ متنحيًا، أو حوالى ٢١:١.

٢ – فى حالة الـ triplex:

		الجاميطات المذكرة		
		15 AA	12 Aa	1 aa
الجاميطات المؤنثة	15 AA	225 AAAA	180 AAAa	15 AAaa
	12 Aa	180 AAAa	144 AAaa	12 Aaaa
	1 aa	15 AAaa	12 Aaaa	1 aaaa

أى يتوقع أن تكون التراكيب الوراثية ونسبها كما يلى:

quadriplex	AAAA	بنسبة ٢٢٥
triplex	AAAa	بنسبة ٣٦٠
duplex	AAaa	بنسبة ١٧٤
simplex	Aaaa	بنسبة ٢٤
nulliplex	aaaa	بنسبة ١

وتكون الأشكال المظهرية المتوقعة فى حالة السيادة التامة هى ٧٨٣:١.

ويبين جدول (١٢–١) ملخصًا لانعزالات الأشكال المظهرية المتوقعة فى حالات التزاوجات المختلفة لنباتات رباعية المجموعة الكروموسومية مع افتراض السيادة التامة (عن Allard ١٩٦٤). ويتبين من الجدول استحالة تمييز النبات الـ quadriplex عن النبات الـ triplex على أساس اختبار النسل؛ لأن جميع نباتات النسل تحمل الصفة السائدة فى كل منهما، ولا يفيد انعزال النباتات الـ triplex فى حالة التوزيع الحر للكروماتيدات إلى ٧٨٣ سائدًا: ١ متنحٍ؛ لأن نسبة النباتات المتنحية تكون منخفضة جدًّا إلى درجة يصعب معها ظهور واكتشاف هذه النباتات فى النسل.

وتجدر الإشارة إلى أن الانعزالات المبينة فى جدول (١٢–١) هى لحالتى التوزيع الحر للكروموسومات (حينما لا تتكون وحدات رباعية الكروموسوم نهائيًّا، أو حينما تكون الجينات قريبة جدًّا من السنترومير إلى درجة لا يحدث معها عبور بين موقع الجين والسنترومير)، والتوزيع الحر للكروماتيدات (حينما تكون الجينات بعيدة عن

السنترومير بقدر يسمح بحدوث عبور تام بين موقع الجين والسنترومير)، إلا أنه يتعين – حتمًا – وجود حالات تتكون فيها وحدات رباعية الكروموسوم بنسب مختلفة، أو لا يكون فيها ارتباط الجين بالسنترومير كاملاً، وهي حالات يكون فيها الانعزال – دائمًا – وسطًا بين الحالات السابقة.

جدول (١٢–١): مخلص لانعزالات الأشكال المظهرية المتوقعة في حالات التزاوجات المختلفة لنبات رباعي المجموعة الكروموسومية، مع افتراض السيادة التامة.

التزاوج	انعزال الأشكال المظهرية (سائد : متنحٍ) على أساس	
	التوزيع الحر للكروموسومات	التوزيع الحر للكروماتيدات
AAAA ذاتي	كلها سائدة	كلها سائدة
AAAa ذاتي	كلها سائدة	١:٧٨٣
AAaa ذاتي	١:٣٥	١:٢٠,٨
Aaaa ذاتي	١:٣	١:٢,٥
aaaa ذاتي	كلها متنحية	كلها متنحية
AAaa × AAAa	كلها سائدة	١:١٣٠
Aaaa × AAAa	كلها سائدة	١:٥١,٣
aaaa × AAAa	كلها سائدة	١:٢٧
Aaaa × AAaa	١:١١	١:٧,٧
aaaa × AAaa	١:٥	١:٣,٧
aaaa × Aaaa	١:١	١:٠,٨٧

الأهمية النسبية للتربية بالتضاعف الذاتي

أدى اكتشاف الكولشيسين Colchicine (مركب كيميائي يستخرج من أحد النباتات، ويستعمل في مضاعفة أعداد الكروموسومات في النباتات) وسهولة استخدامه في مضاعفة كروموسومات عديد من النباتات .. أدى اكتشافه في عام ١٩٣٧ إلى اتجاه العلماء نحو مضاعفة كروموسومات عدد كبير من الأنواع النباتية؛ ظنًا منهم أن ذلك كفيل بإحداث تقدم سريع في تحسين المحاصيل الزراعية، خاصة أن بعضًا من أهم

النباتات الاقتصادية – مثل القمح، والقطن، والبطاطس – هي نباتات متضاعفة. ومما ساعد على تقوية هذا الاتجاه أن إحداث التضاعف صناعيًّا كان مصاحبًا – غالبًا – بزيادة في حجم الأعضاء النباتية، وهو ما يتوقع معه الحصول على نباتات كبيرة الحجم غزيرة المحصول. إلا أن فريقًا آخر من العلماء كان أقل تفاؤلاً؛ استنادًا إلى أن الإنسان لا يمكنه أن ينجز في أعوام قليلة ما لم يتحقق في الطبيعة خلال آلاف السنين، خاصة أن فرصة حدوث التضاعف – طبيعيًّا – متوفرة دائمًا بالنسبة لجميع الأنواع النباتية. وقد تبين أن هذا الفريق كان أكثر واقعية؛ لأن معظم النباتات التي ضوعفت صناعيًّا كانت ضعيفة النمو، وصغيرة الحجم، وغير ثابتة وراثيًّا، وعقيمة بدرجة عالية.

هذا .. ولا يمكن التنبؤ بمظهر النباتات المتضاعفة من مظهرها في الحالة الثنائية، ويتعين – دائمًا – استمرار التجربة والخطأ، ولكن تجدر الإشارة إلى أن مضاعفة النباتات الثنائية تعطي نتائج أفضل من مضاعفة النباتات المتضاعفة بالفعل. فعلى سبيل المثال .. وجد أن مضاعفة كروموسومات القمح والبطاطس – وهما من الأنواع المتضاعفة بطبيعتها – تحدث نقصًا في قوة النمو وعقمًا في كلا المحصولين. ويبدو أنه يوجد حد لدرجة التضاعف المثلى لكل نوع نباتي، وقد بلغت معظم الأنواع هذه الحالة المثلى في الطبيعة. هذا .. ولا يمكن معرفة القيمة الحقيقية للنباتات المتضاعفة باختبارها تحت نفس الظروف البيئية التي تقيّم فيها النباتات الثنائية، بل تلزم دراستها في ظروف بيئية متباينة.

ويمكن القول .. إن التضاعف لا يستخدم في إنتاج سلالات جديدة بغرض استعمالها كأصناف جديدة مباشرة، وإنما لاستعمالها كسلالات تربية، يمكن الاستفادة منها في برامج التربية؛ فالتضاعف لا يكون هو نهاية المطاف، وإنما يكون غالبًا بداية لبرنامج التربية؛ فمثلاً .. يؤدي التهجين بين النباتات المتضاعفة، ثم الانتخاب في النسل إلى زيادة الخصوبة والجودة. كما تؤدي التربية الداخلية في النباتات المتضاعفة إلى إنتاج نباتات أصيلة في صفات مرغوبة. وتجدر الإشارة في هذا الخصوص إلى أن حالة عدم التماثل الوراثي heterozygosity، تقل بمقدار النصف كل ٣,٨ جيلاً من التربية الداخلية في النباتات الرباعية المجموعة الكروموسومية. مقارنة بكل جيل في النباتات الثنائية.

التأثير العام للتضاعف الذاتى على النباتات

يختلف تأثير التضاعف الذاتى باختلاف الأنواع النباتية، وباختلاف الأصناف داخل النوع الواحد.

وفيما يلى أهم تأثيرات التضاعف على النباتات

١ – زيادة حجم الخلايا، وقد لوحظ ذلك خاصة فى الأنسجة الإنشائية، والخلايا الحارسة للثغور، وحبوب اللقاح. إلا أن الزيادة فى حجم الخلايا لا يصاحبها – بالضرورة – زيادة فى حجم النبات.

٢ – تتأثر نسب مكونات الخلية؛ فتتغير نسبة الماء، والبروتين، والكلوروفيل، والسيليلوز، والأوكسينات، والفيتامينات ... إلخ؛ فمثلاً .. يزيد نشاط فيتامين أ فى الذرة الرباعية بمقدار ٤٠٪ عما فى الذرة الثنائية، ويزيد محتوى كثير من الخضر والفواكه الرباعية من حامض الأسكوربيك (فيتامين جـ) عما فى نظائرها الثنائية، ويزيد محتوى النيكوتين فى التبغ الرباعى بمقدار ١٨–٣٣٪ عما فى الثنائى.

٣ – تصبح الأوراق أقصر، وأعرض، وأسمك، ويصبح النبات أقوى نموًا، ولكن توجد حالات كثيرة يكون فيها النبات المتضاعف أضعف وأقل نموًا.

٤ – يزيد حجم بعض الأعضاء النباتية مثل السبلات، والبتلات، والبذور، والثمار، ويطلق على تغيرات كهذه اسم عملقة gigatism.

٥ – بطء النمو، وتأخر الإزهار مع استمراره فترة أطول.

٦ – تكون النباتات المتضاعفة على درجة من العقم تتراوح من نسبة ضئيلة إلى عقم تام. وقد عزى ذلك فى كثير من الأحيان إلى حدوث اضطرابات كروموسومية خلال الانقسام الاختزالى، إلا أن أغلب حالات العقم ترجع – فى النباتات المتضاعفة – إلى حالة عدم التوازن الجينى genic imbalance التى تحدث بعد مضاعفة عدد الكروموسومات.

٧ – قد تختلف الاحتياجات البيئية للنباتات الرباعية عن الثنائية؛ فمثلاً .. تحد حالة التضاعف من احتياجات الفترة الضوئية فى الشيلم، وتحتاج بذور البطيخ الثلاثى إلى درجات حرارة أعلى للإنبات.

٨ – يؤدى التضاعف إلى إضعاف حالة عدم التوافق الجاميطى (عن Allard ١٩٦٤، و Briggs & Knowles ١٩٦٧).

أوجه الاستفادة من النباتات المتضاعفة ذاتيًا

مجالات الاستفادة من التضاعف الذاتى بصورة عامة

إن من أهم مجالات الاستفادة من التضاعف الذاتى فى تحسين النباتات – بصورة عامة – ما يلى:

١ – يستفاد من التضاعف فى إنتاج سلالات أصيلة ثنائية (٢ن) من النباتات الأحادية، كما أسلفنا.

٢ – يسمح التضاعف بزيادة التعبير عن التباينات الوراثية المتواجدة فعلاً، وهو يعطى المربى فرصة لتغيير الصفات النباتية من خلال التغيير الذى يطرأ على تكررات الهيئة الكروموسومية، ومن ثم على عدد جرعات الجينات الآليلية التى تسهم فى إظهار الصفات. وتتباين تلك التأثيرات بين المفيدة وغير المفيدة.

٣ – عندما لا يكون عدد الهيئات الكروموسومية بالنباتات المتضاعفة زوجيًا – كأن تكون النباتات ثلاثية أو خماسية التضاعف – فإنها تكون على درجة عالية من العقم، ويستفاد من تلك الخاصية فى إنتاج الثمار اللابذرية، كما فى حالة البطيخ الثلاثى. ونجد فى تلك الحالات أن العدد غير الزوجى للهيئات الكروموسومية يمنع الاقتران الكامل للوحدات الثنائية الكروموسومات bivalents، كما يجعل من غير المحتمل تكون جاميطات لا تحتوى على الهيئة الكروموسومية الكاملة (euploid gametes)؛ الأمر الذى يمنع إنتاج البذور.

وبينما تتشابه النباتات الثلاثية المجموعة الكروموسومية مع النباتات الأحادية فى كونها على درجة عالية من العقم، إلاَّ أنها تتميز عنها بأنها تحتل مركزًا مهمًا بين النباتات المزروعة؛ إذ ينشأ عن حالة التضاعف الثلاثى تأثيرات مورفولوجية وفسيولوجية مرغوبة. وتكون النباتات الثلاثية – غالبًا – قوية النمو، كما تكون ثمارها كبيرة الحجم، وخالية من البذور، وتوجد منها أصناف تجارية كثيرة تكثر خضريًا، ومن أمثلتها: الموز، ونحو ربع أصناف التفاح الأمريكية الهامة، وبعض أصناف الكمثرى والمشمش اليابانى، وبعض أصناف الكريزاثيمم التى تتميز بإنتاج مرتفع من البيرثيرم، وبعض أشجار الحور التى تتميز بسرعة النمو العالية، وعديد من نباتات الزينة؛ مثل العائق وبعض أصناف التيولب، والجلاديولس. وتزرع أصناف ثنائية مع أصناف التفاح والمشمش والكمثرى الثلاثية؛ لتكون مصدرًا لحبوب اللقاح فى الحقول

الإنتاجية. أما الموز .. فإن ثماره تعقد بكريًا، ولا توجد البذور إلا فى الموز الثنائى المجموعة الكروموسومية، وهو لا يزرع تجاريًا.

٤ – يمكن الاستفادة من مستوى التضاعف الذاتى فى التغلب على مشاكل العقم فى الهجن النوعية، حيث يمكن بمضاعفة كروموسومات نوع ثنائى (٢ن = ٢س) تهجينه بسهولة مع نوع آخر رباعى (٢ن=٤س)، بغرض أن كروموسومات النوع الثنائى المضاعف متوافقة مع كروموسومات النوع الرباعى. ومن أمثلة ذلك تهجين النوع الثنائى *Agropyron cristatum* – بعد مضاعفة عدد كروموسوماته بالكولشيسين – مع النوع الرباعى التضاعف الطبيعى *A. desertorum* (عن Poehlman & Sleper ١٩٩٥).

٥ – تتميز النباتات المتضاعفة بقدرة أكبر على تحمل الظروف البيئية القاسية؛ الأمر الذى أسهم فى تطور المحاصيل المزروعة. كذلك تتميز النباتات المتضاعفة بقدرة أكبر على التعبير الجينى والتباين الإنزيمى، مع انخفاض فى معدل التنفس وارتفاع فى معدل البناء الضوئى، وتأخير فى الإزهار مع استمراره لفترة طويلة، وانخفاض فى معدل النمو، ولكن مع قدرة أكبر على تحمل النقص فى العناصر الغذائية، ويزداد فى مقاومة وتحمل الأمراض والجفاف والتقلبات الحرارية.

ولقد أظهرت دراسات مزارع الخلايا أن الخلايا الثنائية تلجأ إلى التضاعف فى حالات الشدّ البيئى، كما تحاول الخلايا الرباعية المحافظة على وضعها تحت تلك الظروف.

٦ – يعتقد بأن النباتات المتضاعفة تكون أكثر توافقًا مع الظروف البيئة وتحملاً لها بسبب قدرتها الخاصة على إنتاج مركبات أيضية ثانوية، يزداد تركيزها كثيرًا فى النباتات المتضاعفة مقارنة بنظيراتها الثنائية؛ الأمر الذى يجعلها مصدرًا متميزًا لتلك المركبات التى قد يمكن الاستفادة منها فى الأغراض الطبية، أو كمكسبات للنكهة .. إلخ (عن Dhawan & Lavania ١٩٩٦).

ومن أمثلة تلك المركبات التى يزداد تركيزها كثيرًا فى النباتات الرباعية – مقارنة بالثنائية – ما يلى:

أ – محتوى المطاط فى الداندليون الروسى.

ب – محتوى الأتروبين والقلوانيات الأخرى فى أوراق الداتورة.

جـ – محتوى النيكوتين فى التبغ.

د – محتوى "الكمفور" Champhor فى أوراق الريحان.

هـ – محتوى حامض الأسكوربيك فى أوراق الكرنب وثمار الطماطم.

و – محتوى المواد الكاروتينية فى الذرة الصفراء.

ز – محتوى الألياف فى القطن والجوت.

ويبين جدول (١٢–٢) تأثير التضاعف على تركيز بعض المركبات الأيضية الثانوية – التى يمكن الاستفادة منها – فى عديد من الأنواع النباتية.

مجالات الاستفادة مـن التضـاعف الذاتـى فـى مختلـف الفئـات النباتية مقسمة حسب استعمالها

إن من أهم المجالات التى استخدم فيها التضاعف الذاتى لتحسـين مختلـف الفئـات النباتية – مقسمة حسب استعمالاتها – ما يلى:

أولاً: تحسين النباتات التى تزرع لأجل أجزائها الخضرية

تعد النباتات التى تزرع لأجل أجزائـها الخضريـة أكـثر النباتـات اسـتجابة للتربيـة بالتضـاعف؛ فمثـلاً .. وجـد فـى بنجـر السـكر أن جـذور النباتـات الثلاثيـة المجموعـة الـكروموسوميـة أكبر حجمًا من جـذور النباتات الثنائيـة، مـع تسـاوى نسـبة السـكر فى كليهما، ويترتب علـى ذلـك زيـادة كميـة السـكر التـى يمكـن إنتاجـها مـن وحـدة المساحة.

وتعد العقبة الرئيسية أمام الاستفادة من هذه الحقيقة فى الإنتاج التجارى هى كيفيـة إنتاج البذور الثلاثية؛ إذ تطلب ذلك زراعة سلالات ثنائية وأخـرى رباعيـة فـى خطـوط متبادلة، لكى تُلقح فيما بينها. ولكن السـلالات الثنائيـة – وهـى التـى تعطـى محصـولاً عاليًا من البذور – لا تنتج سوى نسبة منخفضـة مـن البـذور الثلاثيـة. بينمـا السـلالات الرباعية – وهى التى تعطى نسبة عالية من البذور الثلاثية – يكون إنتاجها مـن البـذور منخفضًا للغاية.

جدول (١٢-٢): تأثير التضاعف على تركيز بعض المركبات الأيضية الثانوية النافعة (عن Dhawan & Lavania ١٩٩٦).

النوع النباتي	مستوى التضاعف	تأثير التضاعف الكروموسومي
Atropa belladona	4x	٦٨٪ زيادة في تركيز الـ tropane
Acorus calamus	3x	٥٠٪ زيادة في محتوى الزيوت الطيارة
	4x	٣٠٠٪ زيادة في محتوى الزيوت الطيارة
Camellia sinensis	4x	زيادة في تركيز البولي فينولات، والـ catechins، والـ extractines، والـ caffeine
Cannabis sativa	4x	زيادة معنوية في نشاط الـ marihuana
Capsicum spp.	4x	زيادة معنوية في تركيز حامض الأسكوربيك
Carum carvi	4x	زيادة معنوية في تركيز الزيوت الأساسية
		٦٧٪ زيادة في محتوى الزيوت الطيارة
Catharanthus roseus	4x	زيادة المقاومة لعفن الجذور والرقبة
		زيادة تركيز الـ ajmalicine في الجذور
Cinchona succirubra	4x	١٠٠٪ زيادة في تركيز الـ quinine
Costus speciosus	3x & 4x	نقص في تركيز الـ diosgenin
Cymbopogon flexuosus	4x	زيادة جوهرية في محتوى الزيوت الأساسية
Datura innoxia	1x	نقص في محتوى الـ hyoscine، والـ atropine
D. strammonium	4x	٦٠-١٥٠٪ زيادة في محتوى الـ tropane الكلي
	2n + 1	١٣٦-٢٢٧٪ زيادة في محتوى المركبات الشبه قلوية في ٧ من الـ trisomics، و ٤٠٪ نقص في ٣ من الـ trisomics، مقارنة بالكنترول
Digitalis purpurea	4x	تركيز أقل أو مماثل لما في النباتات الثنائية من الجلوكوسيدات
D. lanata	4x	تركيز أقل أو مماثل لما في البناتات الثنائية من الجلوكوسيدات، ولكنها أعلى قليلا في تركيز الـ lanatosides (A، و B)

تابع جدول (١٢-٢):

النوع النباتى	مستوى التضاعف	تأثير التضاعف الكروموسومى
Hyoscyamus niger	8x	٣٥٪ زيادة فى تركيز الـ tropane
H. albus	4x	١٦,٢٪ زيادة فى تركيز الـ tropane
H. muticus	4x	٣٦٪ زيادة فى تركيز الـ tropane
Lavandula angustifolia	4x	زيادة معنوية فى محتوى الزيوت الأساسية
L. latifolia	4x	زيادة معنوية فى محتوى الزيوت الأساسية
Lobelia inflata	4x	٥٢-١٥٢٪ زيادة فى محتوى القلوانيات alkaloids
Mentha spicata	4x	نقص فى تركيز الزيوت الأساسية
M. arvensis	4x	٣٠٪ زيادة فى محتوى الزيوت الأساسية
Ocimum kilmandscharicum	4x	٥٠٪ زيادة فى محتوى الزيوت الأساسية
Papaver bracteatum	4x	زيادة تركيز الـ thebaine
	3x	زيادة محتوى الـ thebaine فى الموسم الأول فقط
P. somniferum	3x & 4x	زيادة جوهرية فى محتوى المورفين morphine
Solanum khasianum	4x	٣٥-٥٠٪ زيادة فى محتوى الـ solasodine وزيادة فى محصول الثمار
Trigonella foenum-gracium	4x	نقص فى محتوى البذور من الـ diosgenin
Vetiveria zizanioides	4x	٦٠٪ زيادة فى محتوى الجذور من الزيوت الأساسية

هذا .. ويتوقع - كذلك - استجابة محاصيل المراعى، والزهور، ونباتات الزينة للتضاعف الذاتى؛ لأنها لا تزرع لأجل ثمارها أو بذورها. كما أن الزهور العقيمة تحتفظ بنضارتها فترة أطول، وقد يعد أى تغير فى الشكل المظهرى لنباتات الزينة عند مضاعفتها أمرًا مرغوبًا فيه فى حد ذاته.

ثانيًا: تحسين النباتات التى تزرع لأجل بذورها

لم يكن للتربية بالتضاعف دور مهم فى تحسين النباتات التى تزرع لأجل بذورها،

بسبب العقم الذى يصاحب التضاعف، ويستثنى من ذلك محصول الشيلم؛ فقد وجد أن الشيلم الرباعى (٢ن = ٤س = ٢٨) يتميز بكبر الحبة، وارتفاع نسبة البروتين بها، وقدرته على النمو فى ظروف بيئية متباينة، بينما يتساوى فى المحصول مع الشيلم الثنائى. هذا .. إلا أنه يعيبه قلة عدد الخلفات، وارتفاع طول النبات، كما اعترضت المطاحن على حبوبه الكبيرة الحجم.

ثالثا: تحسين المحاصيل التى تزرع لأجل ثمارها

أفاد التضاعف الذاتى فى تحسين المحاصيل التى تزرع لأجل ثمارها؛ لسببين هما:

١ – وجد أن ثمار بعض الفواكه الرباعية المجموعة الكروموسومية كبيرة الحجم مقارنة بالطرز الثنائية، كما فى العنب الذى تتميز أصنافه الرباعية بأن حباتها أكبر حجمًا وبذورها أقل عددًا، ولكن يعيبها عدم امتلاء العناقيد، وقلة المحصول.

٢ – تميزت الطرز الثلاثية المجموعة الكروموسومية بخاصية العقد البكرى؛ أى بقدرتها على إنتاج ثمار خالية من البذور. ويعد البطيخ اللابذرى من أهم الأمثلة على ذلك وهو الذى تُنتج بذوره الثلاثية (التى تعطى ثمارًا خالية من البذور)؛ بتهجين سلالات رباعية التضاعف – تستخدم كأمهات – مع سلالات ثنائية التضاعف – تستخدم كآباء – علمًا بأن التلقيح العكسى لا ينجح.

وتكون ثمار البطيخ الثلاثى خالية من البذور؛ لأن الغالبية العظمى من الجاميطات التى تنتجها هذه النباتات (٢ن = ٣س = ٣٣) تكون عقيمة، ولا يكون خصبًا منها إلا ما تحتوى على ١١، أو ٢٢ كروموسومًا، وهى تتكون (أى البويضات الخصبة) بنسبة $(\frac{1}{2})^{11}$ × ٢ × ١٠٠ أى $(\frac{1}{2})^{10}$ × ١٠٠ أى أقل من ٠,٠٥٪، بينما تزيد نسبة الجاميطات العقيمة (وهى التى تحتوى على ١٢–٢١ كروموسومًا) عن ٩٩,٩٥٪؛ لذا .. فإن الثمار العاقدة تكون خالية – تقريبًا – من البذور. هذا .. إلا أنه تظهر بثمار البطيخ الثلاثى تكوينات صغيرة بيضاء تشبه بذور الخيار، كما تبدو بها – أحيانًا – بذور خالية من الأجنة تكون قشرتها صلبة وحجمها طبيعيًا؛ ويعد ذلك من أكبر عيوب البطيخ الثلاثى.

يحتاج عقد ثمار البطيخ الثلاثى إلى توفر حبوب اللقاح من سلالة ثنائية؛ لذا .. تجب زراعة خط من سلالة ثنائية بين كل خمسة خطوط من السلالة الثلاثية. تعمل

حبوب لقاح السلالة الثنائية كمنبهات فقط لنمو مبايض أزهار السلالة الثلاثية التى تكون بويضاتها عقيمة بنسبة تزيد على ٩٩,٩٥٪.

وينتج فى اليابان عدد كبير من أصناف البطيخ الثلاثية؛ ومن أهم عيوبها ارتفاع ثمن التقاوى؛ لكثرة اليد العاملة اللازمة لإنتاج الهجن، وصعوبة إكثار السلالات الرباعية التضاعف، وظهور أشكال غير طبيعية من الثمار الثلاثية، مع ميلها إلى التفريغ، وظهور بذور صلبة فارغة بها.

بعض الأمثلة لحالات نجحت فيها التربية بالتضاعف الذاتى

إن من أهم الحالات الناجحة للتربية بالتضاعف الذاتى، ما يلى:

١ – بنجر السكر الثلاثى التضاعف:

تكون جذور النباتات الثلاثية أكثر طولاً وأعلى محتوى من السكر.

٢ – الشوفان *Secale cereale*:

يتميز الشوفان الرباعى بزيادة حجم الحبوب وارتفاع محتواها من البروتين، وقدرتها العالية على الإنبات فى الظروف البيئية القاسية.

٣ – البطيخ اللابذرى:

يتميز البطيخ اللابذرى (الثلاثى التضاعف) بالجودة العالية ويكثر الطلب عليه فى كل من الولايات المتحدة، واليابان، وأوروبا الغربية.

٤ – نباتات العلف والمراعى:

أعطت السلالات الرباعية التضاعف السويدية من البرسيم الأحمر red clover محصولاً أعلى عن محصول نظيراتها من السلالات الثنائية.

٥ – الزهور ونباتات الزينة:

لاقت الزهور ونباتات الزينة المتضاعفة قبولاً كبيرًا إذا إنها تكون عادة أكبر حجمًا، وتعيش أزهارها لفترة أطول، وتبقى النباتات مزهرة لفترة طويلة نسبيًا، كما أن مجرد ظهور أشكال جديدة من تلك النباتات يعد أمرًا مرغوبًا فيه (عن Agrawal ١٩٩٨). ومن أهم نباتات الزينة التى حُصل فيها على أصناف جديدة عن طريق مضاعفة عدد الكروموسومات بالكولشيسين أنف العجل snapdragon، والقطيفة marigold، والزينية

zinnia، والعائق delphinum، والـ impatiens، والزنبق (السوسن) lily، وزنبق النهار day lily (Hancock ١٩٩٧).

طرق إحداث التضاعف الذاتى فى النباتات

أمكن إنتاج نباتات متضاعفة من الذرة، بتعريضها لدرجات حرارة مرتفعة، كما عرف فى الذرة – أيضًا – جين يجعل النبات قادرًا على إنتاج جاميطات متضاعفة، وهو الجين as (asynaptic) الذى يمنع التقارن الكروموسومى فى أثناء الانقسام الاختزالى.

هذا .. إلا أن مضاعفة الكروموسومات تجرى – عادة – بإحدى طريقتين، هما:

١ – إنتاج نباتات متضاعفة من نسيج الكالوس Callus Tissue:

يلزم لإنتاج نباتات متضاعفة بهذه الطريقة قطع فرع نباتى، ثم معاملة السطح المقطوع بمنظم النمو إندول حامض الخليك (IAA) فى اللانولين. وتؤدى هذه المعاملة فى بعض النباتات إلى تكون كتلة من نسيج الكالوس على السطح المقطوع، قد تنمو منها أفرع جديدة. تكون بعض هذه الأفرع رباعية التضاعف، وتنتج – لدى إكثارها خضريًّا – نباتات كاملة رباعية. وقد اتبعت هذه الطريقة بنجاح فى الطماطم والتبغ.

٢ – إنتاج نباتات متضاعفة بالمعاملة بالمركبات الكيميائية:

استخدم عديد من المركبات الكيميائية فى مضاعفة كروموسومات الأنواع النباتية، وكان من أمثلتها الإيثر، والكلوروفورم، وأكسيد النتروز nitrous oxide، وكلورال هيدريت Chloral hydrate، وأسينافثين acenapthene، وإيثيل كلوريد الزئبق ethyl-mercury-chloride. إلا أن أكثر المركبات استعمالاً وأهمها فى مضاعفة الكروموسومات كان الكولشيسين colchicine، وهو ما سنتناوله بشئ من التفصيل. وقد أعقب اكتشافه – وهو مركب طبيعى – تخليق طرز أخرى صناعية منه؛ مثل الكولشيم Colchium، والكالسيميد Calcemid.

الشروط التى يجب توفرها فى النباتات التى تربى بالتضاعف

يفضل توفر الشروط التالية فى المحاصيل التى تربى بالتضاعف:

١ – أن يكون عدد الكروموسومات فيها قليلاً.

٢ – أن تزرع لأجل الأجزاء الخضرية.
٣ – أن تكون خلطية التلقيح.
٤ – أن تكون معمرة.
٥ – أن تكون قادرة على التكاثر الخضرى.

كما يجب أن تشمل مضاعفة الكروموسومات عددًا كافيًا من النباتات من سلالات ثنائية مختلفة ممثلة للصنف؛ بهدف استعادة أكبر قدر ممكن من التباينات الوراثية للصنف الأصلى فى الصنف الجديد (عن Agrawal ١٩٩٨).

الكولشيسين واستعمالاته فى مضاعفة الكروموسومات

كان الكولشيسين هو المركب الرئيسى المستخدم فى إحداث التضاعف الكروموسومى فى النباتات منذ أكثر من خمسين عامًا ولا يزال كذلك، وهو يستخرج من نبات *Cochium autumnale* الذى يحتوى على المركب بنسبة ٠,٤٪ من وزنه الجاف. ونتناول – فيما يلى – دراسة الكولشيسين من عدة جوانب.

كيفية إحداث الكولشيسين للتضاعف

يُحدث الكولشيسين تأثيره بمنع تكوين خيوط المغزل فى أثناء انقسام الخلية، وهو ما يمنع هجرة الكروموسومات إلى قطبى الخلية. ويؤدى ذلك إلى تكوين نواة جديدة تحتوى على ضعف العدد الأصلى من الكروموسومات. ونظرًا لأن عدد الكروموسومات يستمر فى التضاعف مع كل انقسام جديد مادام تأثير الكولشيسين باقيًا؛ لذا .. فإن المعاملة بالمركب يجب أن تتوقف بعد انقضاء الفترة اللازمة لإحداث التضاعف المطلوب. هذا .. علمًا بأن الخلايا الرباعية التضاعف – وأحيانًا الثمانية التضاعف – هى التى يمكن أن تستمر فى الانقسام والنمو.

طرق إضافة الكولشيسين للأنسجة النباتية

يضاف الكولشيسين للأنسجة النباتية فى إحدى الصور التالية:
١ – محلول مائى: يتراوح تركيز المحلول المائى عادة من ٠,٠٥٪–٠,٤٪.
٢ – محمُل فى الجلسرين: يستعمل لذلك ٧.٥ مل جلسرينًا، و ٢.٥ مل ماءً، و ٦–

٨ نقاط من المادة المبللة سانتوميرز santomerse، ثم يضاف الكولشيسين بالتركيز المطلوب.

٣ – محمل فى الآجار: يضاف الكولشيسين إلى الآجار الساخن قبل تصلبه.

٤ – محمل فى مستحلب اللانولين: يحضر مستحلب اللانولين بإضافة ٢٠ مل ماء إلى ١,٥ جم حامض استياريك stearic acid، و ٠,٥٣ مل مورفولين morpholine مع التسخين إلى أن يتم ذوبان حامض الاستياريك، على ألا ترتفع درجة حرارة المخلوط عن ١٠٠°م. يحرك المخلوط بساق زجاجية إلى أن يأخذ مظهر الصابون فى اللون والقوام، ثم يضاف إليه ٨ جم لانولين lanolin مع استمرار التسخين والتلقيب إلى أن يذوب اللانولين، وحتى يصبح قوام المستحلب سميكًا نسبيًا، ثم يترك ليبرد، ويضاف إليه الكولشيسين بالتركيز المطلوب.

طرق المعاملة بالكولشيسين

تجرى المعاملة بالكولشيسين بإحدى الطرق التالية:

١ – معاملة البذور:

تنقع البذور التى يُراد معاملتها فى محلول مائى من الكولشيسين بتركيز ٠,٠٥٪–١,٥ لمدة ١–٦ أيام، علمًا بأن البذور البطيئة الإنبات تحتاج إلى مدة أطول. ويجب أن تنتهى المعاملة قبل أن تباشر البذور بالإنبات، وتغسل البذور جيدًا بعد المعاملة.

٢ – معاملة البادرات:

تعامل القمم النامية للبادرات الصغيرة بنجاح أكبر من معاملة البذور، وتستمر المعاملة لمدة ٣–٢٤ ساعة. يراعى عدم وصول الكولشيسين إلى جذور البادرات نظرًا لحساسيتها الشديدة له. وتجرى المعاملة بإحدى طريقتين كما يلى:

أ – إذا استنبتت البذور على ورق ترشيح فى أطباق بترى، وكانت جذور البادرات تتخلل ورق الترشيح بشكل جيد .. فإن المعاملة تجرى بقلب أطباق بترى بما عليها من بادرات، حتى تنغمس القمم النامية للنباتات فى محلول مائى من الكولشيسين.

ب – بلف جذور مجموعة من البادرات بقطن مبلل بالماء، ثم قلبها فى كأس به محلول مائى من الكولشيسين بنفس الطريقة السابقة، وتفضل هذه الطريقة؛ لأن

الجذور تبقى رطبة ولا تتعرض للجفاف. هذا .. وتغسل البادرات بالماء بعد انتهاء المعاملة.

٣ - معاملة النباتات الكبيرة:

تعامل الفروع الصغيرة، والبراعم الإبطية، والقمم النامية للسيقان الكبيرة بإحدى الطرق التالية:

أ - غمر القمة النامية فى محلول مائى من الكولشيسين.

ب - وضع قطعة قطن مبللة بمحلول الكولشيسين بين أوراق البرعم النامى، مع تكرار المعاملة يوميًّا لمدة ٢-٦ أيام.

جـ - رش البراعم بمحلول الكولشيسين عدة مرات يوميًّا. أو قد يضاف إلى البرعم الإبطى نقطة واحدة من محلول مائى من الكلولشيسين بتركيز ٠,٥٪. ياضف إليه زيت معدنى بنسبة ١٪.

د - إضافة الكولشيسين محملاً فى الجلسرين بواسطة فرشاة.

هـ - دهان القمة النامية بالكولشيسين فى مستحلب من اللانولين.

و - معاملة القمة النامية بالكولشيسين المحمل فى الآجار، مع إضافته إما بفرشاة، وإما فى نصف كبسولة توضع منكسة على البرعم.

هذا .. ويتباين كثيرًا كلا من التركيز المناسب من الكولشيسين وطريقة المعاملة - حسب المحصول - كما يلى:

١ - القطن:

تعامل القمة النامية للبادرات فى مرحلة الورقة الحقيقية الرابعة إلى الخامسة بتركيز ٠,٠٨٪ كل ١٢ ساعة.

٢ - الحمص:

تعامل البذور المستنبتة فى مرحلة بداية بزوغ الجذير بتركيز ٠,٢٥٪ كل ٣٠ دقيقة.

٣ - الفلفل:

تعامل البذور بتركيز ٠,١٪ لمدة ٨ أيام.

٤ – السمسم:

تعامل البراعم الخضرية بتركيز ٠,٤٪ بالرش مرتان فى اليوم الأول، وتكرر المعاملة فى اليومين الثالث والخامس.

٥ – البرسيم المصرى:

تعامل النموات الخضرية وهى بعمر ٤ أيام بتركيز ٠,١٪ لمدة ٨ ساعات (عن Agrawal ١٩٩٨).

يراعى عند استعمال الكولشيسين أنه مركب شديد السمية؛ فلا يجب أن يلامس الجلد فترة طويلة؛ كما أنه مرتفع الثمن، ويتلف من التخزين الطويل؛ لذا .. يجب ألا تحضر منه إلا الكمية اللازمة فقط حسب الحاجة. وتذاب الكمية المطلوبة من الكولشيسين فى قطرات من الكحول، ثم يضاف الماء ببطء لأن سرعة إضافته تجعل الكولشيسين يترسب من المحلول ثانية. ويمكن تخزين محلول الكولشيسين فى الثلاجة لأسابيع قليلة، لكنه لا يخزن مجمدًا (Avery وآخرون ١٩٤٧، و Egisti & Dustin ١٩٥٥، و Hayes وآخرون ١٩٥٥، و North ١٩٧٩).

وقد أجريت محاولات لاستبدال الكولشيسين بمركبات أخرى أقل تكلفة وسمية؛ فمثلاً .. قارن Li وآخرون (١٩٩٩) تأثير الكولشيسين بتأثير كل من المركبين:

- الإيثال فلورالين ethalfluralin، وهو داى نيتروأنيلين dinitroanilin، يسمى كيميائيًّا N-ethyl-N-2-methyl-2-propenyl)-2,6-dinitro-4-trifluoromethyl)benzanine.

- الأورايزلين oryzaline، وهو – كذلك – داى نيترو أنيلين، يسمى كيميائيًّا (3,5-dinitro-N4,N4-dipopylsulfanilamide).

وجد الباحثون أن الكولشيسين كان فعالاً فى إحداث التضاعف عندما استخدم بتركيز ١٠٠٠ ميكرومول مع التعريض له لمدة ٣٠ يومًا، بينما أحدث الإيثال فلورالين التضاعف فى ٥٠٪ من النباتات المعاملة عندما تعرضت له النباتات بتركيز ٥٠ ميكرومول لمدة ٩ أيام فقط، أما الأورايزلين فكان قليل الكفاءة.

ونظرًا لأن الكولشيسين شديد السمية للإنسان ومرتفع الثمن كثيرًا عن الإيثال فلورالين، فإن الأخير يمكن أن يكون بديلاً جيدًا للكولشيسين فى إحداث التضاعف.

ولمزيـد مـن التفـاصيل عـن الكولشيسـين واسـتعمالاته .. يراجـع Egisti & Dustin (١٩٥٥).

الفصل الثالث عشر

التضاعف الهجينى وأهميته

تعريف التضاعف الهجينى وكيفية حدوثه

تنشأ الأفراد المتعددة المجموعة الكروموسومية الخليطة – أو الهجينة التضاعف – Alloploids حينما تجرى تلقيحات معينة بين أفراد من مجموعتين مختلفتين من الوجهة التقسيمية. وتكون أفراد الجيل الأول الناتجة من هذا التهجين عقيمة – غالبًا – لوجود الكروموسومات فى الفرد الهجين بحالة مفردة دون قرين، إلا أنها قد تتقارن – جزئيًا – إذا كانت الاختلافات بين الهيئات الكروموسومية للأبوين بسيطة. وتعرف الهجن فى هذه الحالة باسم المتعددة المجموعة الكروموسومية الخليطة جزئيًا Segmental Alloploids. وتعرف الكروموسومات المتماثلة جزئيًا فى هذه الهجن باسم Homoelogus Chromosomes.

وقد يحتوى الفرد الهجين على جميع الكروموسومات التى توجد فى أبويه، ويحدث ذلك فى إحدى الحالتين التاليتين:

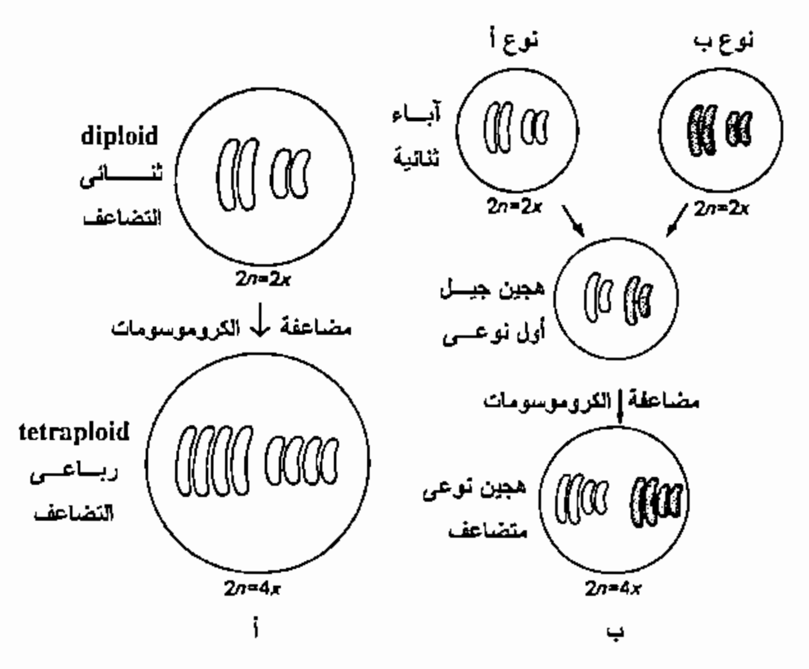
١ – حينما ينشأ الفرد المتعدد المجموعات الكروموسومية الخليطة من اتحاد جاميطات ثنائية (٢ن)، تكونت إما بمحض الصدفة، وإما نتيجة لمضاعفة كروموسومات الآباء صناعيًا قبل إجراء التهجين.

٢ – إذا حدث تضاعف لكروموسومات الفرد المتعدد المجموعات الكروموسومية الخليطة.

تعرف هذه الأفراد التى تحتوى خلاياها الجسمية على جيمع الكروموسومات التى توجد فى كل من أبويها باسم المتعددة المجموعات الكروموسومية الشبيهة بالثنائية، أو الهجينية التضاعف Amphidiploids. ولا يختلف السلوك الكروموسومى لهذه الأفراد فى الانقسام الميوزى عن الأفراد الثنائية المجموعة الكروموسومية العادية. وتكون هذه النباتات صادقة التربية لنوعها true breeding، إلا إذا كانت نشأتها بالطريقة الأولى،

وكانت الآباء خليطة أصلاً. هذا .. إلا أنه ليس شرطًا أن تكون تلك الأفراد خصبة دائمًا.

ويعطى شكل (١٣-١) مقارنة بين كيفية نشأة كل من النباتات المتضاعفة ذاتيًا، والنباتات المتضاعفة هجينيًا.



شكل (١٣-١): نشأة كل من النباتات المتضاعفة ذاتيًا (أ)، والنباتات المتضاعفة هجينيًا (ب).

انتشار ظاهرة التضاعف الهجينى

لا ترتبط القيمة الزراعية للنباتات المتضاعفة هجينيًا بقيمة الأنواع النباتية الداخلة فى إنتاجها؛ فقد يؤدى تهجين أنواع عديمة القيمة معًا إلى الحصول على أنواع جديدة على درجة كبيرة من الأهمية. وقد حدث ذلك بالنسبة لكل من القمح والقطن، والتبغ، وغيرها من المحاصيل الهامة التى نشأت – فى الطبيعة – من تهجينات بين أنواع لا شأن لها

ينتشر التضاعف الهجينى فى الطبيعة بدرجة كبيرة، ويعتبر القمح المثال التقليدى على ذلك. كما يوجد أيضًا فى كل من القطن، والشوفان، وبنجر السكر، والقصب،

والتبغ، والفراولة، والبرقوق الأوروبى. كذلك نشأت عديد من أنواع الجنس *Brassica* بالتهجين الطبيعى بين أنواع مختلفة من نفس الجنس.

السلوك السيتولوجى للنباتات المتضاعفة هجينيًا

سبق أن أوضحنا أن الهجن النوعية – التى تختلف آباؤها كثيرًا عن بعضها – تكون على درجة عالية من العقم؛ لفشل كروموسومات الأبوين فى الاقتران مع بعضها فى أثناء الانقسام الاختزالى؛ حيث تبقى على صورة وحدات أحادية الكروموسوم. أما إذا كانت كروموسومات الأبوين متماثلة جزئيًا homeologus (كما فى حالات النباتات المتعددة المجموعة الكروموسومية الخليطة جزئيًا (Segmental Allpoploids) .. فإنها تتقارن فى المنطاق المتماثلة، وبذا .. تتكون وحدات ثنائية الكروموسوم فى أثناء الانقسام الاختزالى، وتكون النباتات خصبة نسبيًا.

وعلى خلاف ما سبق بيانه .. فإن الوضع يصبح معكوسًا تمامًا بالنسبة للنباتات المتضاعفة هجينيًا (المتعددة المجموعات الكروموسومية الشبيهة بالثنائية) Amphidiploids؛ ففى هذه الحالة .. يحتوى الهجين النوعى على جميع كروموسومات الأبوين؛ فإن لم يوجد أى تشابه بين كروموسومات الأبوين كان الهجين النوعى خصبًا؛ لأن أزواج الكروموسومات المتماثلة تتقارن مع بعضها فى أثناء الانقسام الاختزالى، وتتكون وحدات ثنائية الكروموسوم.

ويعرف التقارن الكروموسومى هذا بالتقارن التفاضلى الكامل Complete Preferential Pairing، ويترتب عليه انعدام العبور بين كروموسومات الأبوين واستمرار احتفاظ الهجين بصفاته المميزة. أما إذا كانت كروموسومات الأبوين متماثلة جزئيًا .. فإنها تتقارن مع بعضها فى المناطق المتماثلة بطريقة غير منتظمة؛ فتتكون وحدات رباعية الكروموسوم، أو وحدات ثلاثية وأخرى أحادية الكروموسوم، كما قد تتكون وحدات ثنائية الكروموسوم، وهو ما يعرف بالتقارن الاختبارى Selective Pairing. ويترتب على ذلك عدم وصول أجزاء متساوية من الكروماتين إلى الجاميطات، وهو ما يجعل الهجين على درجة عالية من العقم.

وتجدر الإشارة إلى أن درجة التماثل homology بين الكروموسومات مسألة نسبية،

وتتوقف على درجة القرابة بين النوعين المهجنين معًا. وحينما تكون الآباء من نوع نباتى واحد .. فإن التماثل الكروموسومى يكون تامًّا، ويكون التقارن عشوائيًّا تمامًا فى الوحدات الرباعية الكروموسوم؛ إلا أن مثل هذه الهجن (التى تحتوى على جميع كروموسومات الأبوين) لا تخرج عن كونها نباتات رباعية المجموعة الكروموسومية tetraploids، ولا تعد من النباتات المتعددة المجموعة الكروموسومية الشبيهة بالثنائية Amphidiploids.

السلوك الوراثى للنباتات المتضاعفة هجينيًّا

يكون جزء كبير من المادة الوراثية فى النباتات المتضاعفة هجينيًّا المتعددة المجموعات الكروموسومية الشبيهة بالثنائية) مكررًا، سواء أكانت كروموسومات الآباء مختلفة تمامًا (حالات الـ Alloploidy)، أم مختلفة جزئيًّا (حالات الـ Segmental Alloploidy)، وتلك من الأمور التى يجب الانتباه إليها عند دراسة وراثة الصفات فى النباتات الهجينية التضاعف. أما عن الشكل المظهرى لهذه النباتات .. فإنه غالبًا ما يكون وسطًا بين الآباء، وإن كان من غير الممكن التنبؤ بذلك مقدمًا.

التضاعف الهجينى كطريقة لنشأة الأنواع

التضاعف الهجينى الطبيعى

إن من أهم حالات التضاعف الهجينى التى حدثت طبيعيًّا دونما تدخل من الإنسان تلك التى أفرزت عددًا من أهم المحاصيل الزراعية، مثل القمح، والقطن، وقصب السكر، وأنواع الجنس *Brassica*.

نشأة أنواع القمح

يعد القمح مثالاً كلاسيكيًّا لنشأة الأنواع بطريقة تعدد المجموعات الكروموسومية الخلطى. وتقسم الأنواع التابعة لجنس القمح *Triticum* – عادة – إلى ثلاث مجاميع، تبعًا لعدد كروموسومات الهيئة الكروموسومية، الذى يكون دائمًا إما سبعة وإما مضاعفات لهذا العدد كما يلى:

١ – مجموعة إينكورن Einkorn:

تعد الأنواع التى تنتمى إلى هذه المجموعات ثنائية المجموعة الكروموسومية، وفيها ن=٧، ومن أمثلتها النوعان: *T. aegilopoides*، و *T. monococcum*.

٢ – مجموعة أيمر Emmer:

تعد الأنواع التى تنتمى إلى هذه المجموعة رباعية المجموعات الكروموسومية، وفيها ن=١٤، ومن أمثلتها الأنواع *T. dicoccoides*، و *T. dicoccum*، و *T. durum*.

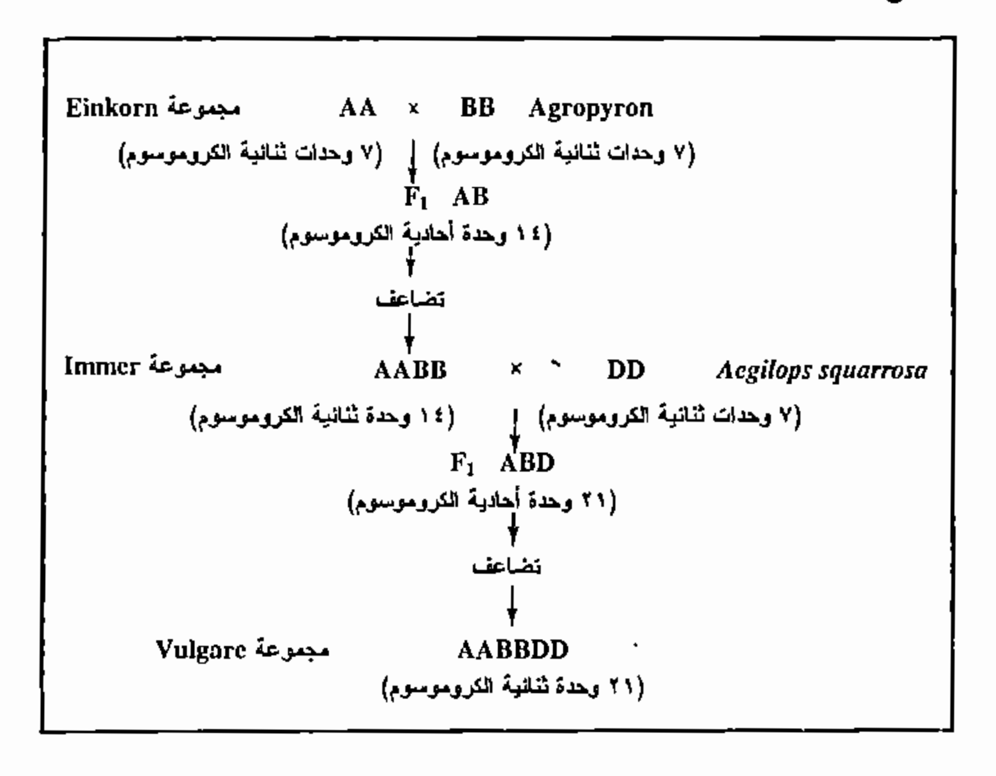
٣ – مجموعة فولجير Vulgare أو سبلتا Spelta:

تعد الأنواع التى تنتمى إلى هذه المجموعة سداسية المجموعات الكروموسومية، وفيها ن=٢١، ومن أمثلتها الأنواع *T. spelta*، و *T. vulgare*، و *T. compactum*.

وقد تبين من الدراسات السيتولوجية أن الانقسام الميوزى فى هذه المجموعات منتظم للغاية، وأن الكروموسومات تقترن دائمًا على شكل وحدات ثنائية الكروموسوم، وهو ما يدل على عدم وجود أى تشابه – ولو جزئى – بين الكروموسومات فى أى من هذه الأنواع، باستثناء ما يكون بين كروموسومى كل زوج منها. كما تبين أن الأقماح الرباعية تحتوى على هيئتين كروموسوميتين كاملتين متضاعفتين (أعطيتا الرمزين A، و B)، وأن كلاً من منهما تتكون من سبعة كروموسومات غير متماثلة؛ لذا .. فإن الأقماح الرباعية – وهى هجن متعددة المجموعات الكروموسومية شبيهة بالثنائية – تحتوى على ١٤ زوجًا من الكروموسومات، ويتكون بها فى أثناء الانقسام الاختزالى ١٤ وحدة ثنائية الكروموسوم. أما الأقماح السداسية .. فقد تبين أنها تحتوى على الهيئتين الكروموسوميتين السابقتين A، و B وهيئة كروموسومية ثالثة أعطيت الرمز D. وتتكون الهيئة D كذلك من سبعة كروموسومات. تختلف عن أى من كروموسومات الهيئتين A، و B. لذا .. فإن الأقماح السداسية – وهى هجن متعددة المجموعات الكروموسومية شبيهة بالثنائية – تحتوى على ٢١ زوجًا من الكروموسومات، ويتكون بها أثناء الانقسام الاختزالى ٢١ وحدة ثنائية الكروموسوم.

كذلك تبين من دراسات كل من Kihara، و Sears، و McFadden أنه توجد هيئة كروموسومية مشتركة بين جميع مجاميع القمح، وهى التى أخذت الرمز A. ويعنى ذلك

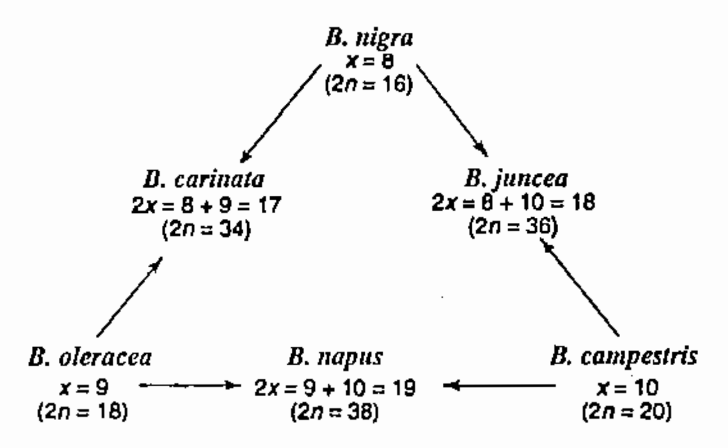
أن أنـواع مجموعـة الـ Einkorn تحتـوى علـى الهيئـة الكروموسـومية A. أمـا الهيئــة الكروموسومية الثانية التى أخذت الرمز B .. فيعتقد أنها أتت من حشيشـة الأجروبيرون *Agropyron*، وإن لم يكن ذلك متفقًـا عليـه، بينمـا يوجـد اتفـاق بـين العلمـاء علـى أن الأقماح السداسية قد حصلت على الهيئة الكروموسـومية الثالثة (التـى أخـذت الرمـز D) من النوع *Aegilops squarrosa* (ن=٧) كما هو مبين فى شكل (١٣-٢).



شكل (١٣-٢): تخطيط يبين نشأة الأنواع الرباعيـة (Immer) والسداسيـة (Vulgare) مـن القمح، وأوجه القرابة بينها وبين الأنواع الثنائية (Einkorn).

نشأة أنواع الجنس *Brássica*

ينتشر التضاعف الهجينى فى العائلة الصليبية، وقد اقـترح U، (وهـو عـالم يابـانى) الطريقة المبينة فى شكل (١٣-٣) للكيفية التى نشـأت بـها الأنـواع المتعـددة المجموعـة الكروموسومية الشبيهة بالثنائية فى الجنس *Brassica* والتى تعرف بمثلث U.



شكل (١٣-٣): مثلث U لبيان الكيفية التى يحتمل أن تكون قد نشأت بها أنواع الجنس ***Brassica*** المتعددة المجموعة الكروموسومية الشبيهة بالثنائية **amphidiploids** (وهى التى بها ن=١٧، أو ١٨، أو ١٩) من الأنواع الثنائية **diploids** (وهى التى بها ن = ٨، أو ٩، أو ١٠). تشير الأسهم إلى الأنواع المتضاعفة هجينيًّا التى نشأت من مختلف الأنواع الثنائية.

التضاعف الهجينى الصناعى

العائلة الكرنبية

كان الهجين *Raphanobrassica* من أوائل حالات التضاعف الهجينى الصناعى، وقد أنتجه Karpechenko بالتهجين بين الفجل (٢ن =١٨)، والكرنب (٢ن=١٨)، ثم مضاعفة كروموسومات الجيل الأول لتصبح بخلاياه الجسمية ٣٦ كروموسومًا، تشتمل على المجموعة الكروموسومية الكاملة لكل من الفجل والكرنب.

وقد أعقب ذلك إنتاج عديد من حالات التضاعف الهجينى الصناعى الأخرى فى العائلة الكرنبية.

النوع *Primula kewensis*

نشأ النوع *Primula kewensis* كطفرة متضاعفة للهجين النوعى: *P. floribunda* × *P. verticillata* ، الذى ظل عقيمًا لعدة سنوات، إلى أن ظهرت هذه الطفرة على صورة فرع يحمل أزهارًا كثيرة خصبة بأحد النباتات، ثم اتضح أن خلايا هذا الفرع

يوجد بها ٣٦ كروموسـومًا، وهو العدد الكلى لكروموسـومات الأبوين (عن Allard ١٩٦٤، و Briggs & Knowles ١٩٦٧).

الترتيكيل

إن من أهم حالات التضـاعف الهجينـى التـى أجريـت بواسـطة الإنسـان تلـك التـى أفرزت محصول الترتيكيل triticale بنوعية الثمانى والسادسى التضاعف، حيث:

● أنتج الترتيكيل الثمانى التضاعف بتلقيح القمح *Triticum aestivum* (وهو سداسـى التضاعف ويحتوى على المجموعات الجينومية AABBDD) كـأم مـع الشـوفان *Secale cereale* (وهو ثنائى التضاعف ويحتوى على المجموعـة الجينوميـة RR) كـأب، لينتـج الجيـل الأول الهجـين الربـاعى التضـاعف (ABDR)، الـذى ضوعفـت كروموسـوماته باستعمال الكولشيسين، لينتج الترتيكيل الثمانى التضاعف (AABBDDRR).

● أنتج الترتيكيل السادسى التضاعف (AABBRR) بطريقة مماثلة لتلـك التـى أنتـج بها الترتيكيل الثمانى التضاعف، ولكن مع استعمال القمح الرباعى التضاعف *Triticum durum* (AABB) كأم فى التلقيح (عن Chahal & Gosal ٢٠٠٢).

مجالات الاستفادة من التضاعف الهجينى فى تربية النبات

إن من أهم مجالات الاستفادة من التضاعف الهجينى فى تربية النبات، ما يلى:

١ – تحديد هوية أسلاف الأنواع النباتية المعروفة المضاعفة هجينيًّا.

٢ – إنتاج تراكيب وراثية جديدة وأنواع نباتية جديدة.

لم يستطيع المربى محاكاة الطبيعة فى إنتاج أنواع جديـدة هجينيـة التضـاعف كتلـك التى تتواجد طبيعيًّا، وذلـك باسـتثناء محصـول الـترتيكيل triticale الـذى ينتـج – كمـا أسلفنا – من التهجين بين القمح والشوفان؛ بهدف الجمع بين صفات حبوب القمح مـع قدرة الشوفان على تحمل البرد الشديد. ويتوفر حاليًّا ثلاثة طرز مـن الـترتيكيل (جـدول ١٣–١) رباعية وسداسية وثمانية التضـاعف، وأفضلـها السداسـى، الـذى يسـتخدم هـو والطراز الثمانى كعلف للماشية.

أما الطرز الرباعى التضاعف فلم تكن له قيمة كمحصول زراعى.

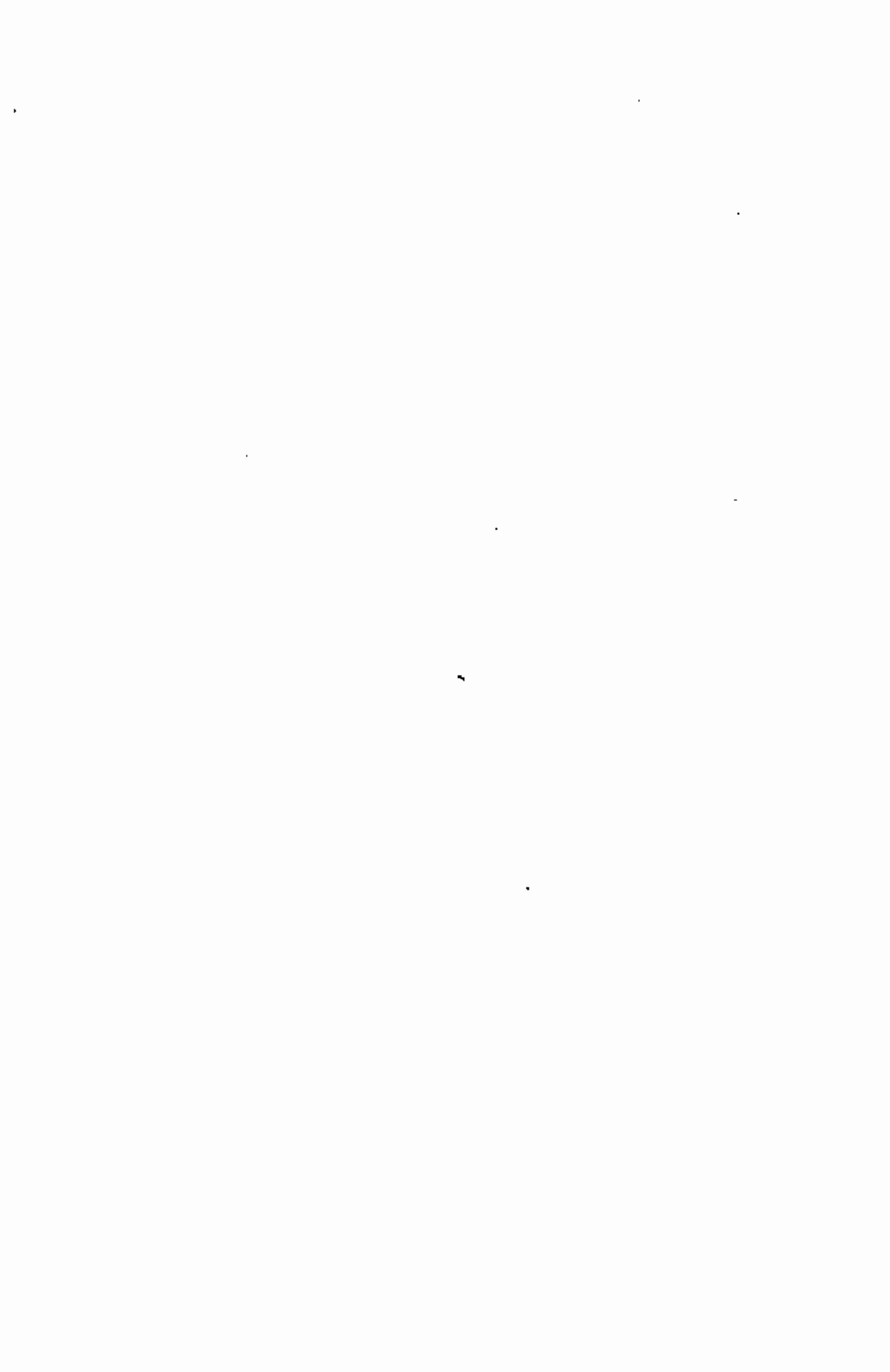
جدول (١٣-١): طرز الترتيكيل المعروفة وكيفية تكوينها.

النوع	عدد الكروموسومات	الهيئات الكروموسومية	الاسم العادى
Secale cereale	١٤	RR	الشوفان rye
Triticum turgidum	٢٨	AABB	القمح الـ durum
Triticum aestivum	٤٢	AABBDD	القمح العادى common
Triticosecale (سداسى)	٤٢	AABBRR	ترتيكيل Triticale
Triticosecale (ثمانى)	٥٦	AABBDDRR	ترتيكيل Triticale

٣ - تسهيل إحلال كروموسوم من أحد الأنواع البرية محل كروموسوم آخر فى النوع المزروع (عن Poehlman & Sleper ١٩٩٥).

٤ - تسهيل نقل الجينات من الأنواع البرية إلى الأنواع المحصولية القريبة منها:

من الأمثلة على ذلك نقل خاصية متانة ألياف القطن من النوع البرى الثنائى التضاعف *Gossypium thurberi* (وهو يحتوى على الجينوم DD وفيه ٢ن = ٢٦) إلى النوع الرباعى التضاعف المزروع *G. hirsutum* من خلال تمثيل هجين نوعى متضاعف allotetraploid تكون من تهجين النوع المزروع الثنائى التضاعف *G. arboreum* (الذى يحتوى على الجينوم AA وفيه ٢ن = ٢٦) مع النوع البرى *G. thurberi* ليتكون الهجين AD (وفيه ٢ن = ٢٦)، الذى ضوعف عدد كروموسوماته باستعمال الكولشيسين ليتكون الهجين المتضاعف amphidiploid الرباعى التضاعف AADD (وفيه ٢ن = ٥٢). ولقد لقح هذا الهجين المتضاعف مع النوع الرباعى التضاعف المزروع *G. hirsutum* (وهو أيضًا AADD، وفيه ٢ن = ٥٢)، حيث أنتجت سلالات على درجة عالية من متانة الألياف لم تكن متوفرة فى النوع المزروع (عن Chahal & Gosal ٢٠٠٢).



الفصل الرابع عشر

الهجن النوعية

مقدمة

يلجأ المربى إلى التـهجين بـين أنـواع نباتيـة مختلفـة Interspecific Hybridization عندما يتعذر عليه العثور على الصفـات المرغـوب فيـها داخـل النـوع الـذى ينتمـى إليـه المحصول الذى يقوم بتحسـينه. وقـد يكـون التـهجين مـع نـوع نبـاتى آخـر مـن نفـس الجنس، أو من جنس آخر من نفس العائلة. ويستعان بمثل هـذه الهجـن النوعيـة لنقـل جين واحد، أو مجموعة من الجينات المرغوب فيـها مـن نـوع إلى آخـر، أو للتوصـل إلى صفـات جديدة ليست موجودة فى أى من النوعين منفردًا. كمـا تجـرى الهجـن النوعيـة فى كثير من الأحيان، لمجرد تجربة ما يمكن أن تسفر عنه هذه الهجن.

وبرغم وجود أمثلة عديدة لهجن نوعية ناجحـة .. إلا أنـه توجـد حـالات يسـتحيل فيهـا إجراء الهجن النوعية، وقد يمكـن إنتـاج الهجـين النوعـى (الجيـل الأول) ولكنـه يـكون عقيمًا، أو قد يبـدأ التدهـور والعقم فى الجيـل الثانى. وقد توصـل مربـو النبـات إلى طـرق فعالـة للتغلب علـى كثـير مـن مشـاكل إنتـاج الهجـن النوعيـة فـى حـالات خاصة.

وغنى عن البيان أن لا يمكن دراسة الهجن النوعيـة Interspecific Hybrids بمعـزل عن التضاعف الهجينـى Alloploidy؛ وذلـك لأن التضـاعف الهجينـى يسـتلزم حـدوث هجن نوعيـة ابتـداء. كما أن كثيرًا من أمثلة الهجن النوعية الناجحة التى يـأتى بيانـها فى هـذا الفصـل هـى لأنـواع (هجـن نوعيـة) متعـددة المجموعـة الكروموسـومية شـبيهة بالثنائية Amphidiploids.

إن معظم الهجن النوعية التى يجريها مربى النبات تكـون بـين المحـاصيل الزراعيـة وأنواع أخرى برية قريبة منها؛ بغرض الحصول على جينات مرغوب فيها من الأخـيرة. ومن الطبيعى أن يتلقى الجيل الأول الهجين نصف جيناته من الأب البرى؛ لذا .. فإنه

لا يصلح للزراعة التجارية. ويتطلب الأمر إجراء عديد من التلقيحات الرجعية إلى النوع المحصولى، مع محاولات لكسر الارتباطات غير المرغوب فيها – إن وجدت – ليمكن إنتاج سلالة تربية من النوع المحصولى تحتوى على الجين المرغوب فيه من النوع البرى لاستخدامها – بعد ذلك – فى برامج التربية لتحسين المحصول بالطرق الأخرى. ويعرف برنامج التربية الذى يتمخض عنه سلالات كهذه باسم التربية السابقة pre-breeding، أو تربية سلالات الآباء parent-line breeding.

هذا .. إلا أن الأنواع المحصولية والأنواع البرية ربما لا تختلف كثيرًا – وراثيًا – عن بعضها، بسبب ما يكون قد حدث بينها من تبادل جينى فى الطبيعة فى أزمنة سابقة. وبرغم أن الهجن النوعية لا تكون صعبة فى حالات كهذه، إلا أنها لا تكون ضرورية أيضًا؛ نظرًا لأن الجينات المرغوب فيها غالبًا ما تكون قد انتقلت – بالفعل – من النوع البرى إلى النوع المحصولى فيما يعرف باسم Introgerssion.

ويمكن إيجاز أهم الأهداف التى يسعى إليها المربى من إجرائه للهجن النوعية، فيما يلى:

١ – نقل جينات مرغوب فيها من نوع نباتى لآخر، مثل تلك المسئولة عن المقاومة للأمراض والآفات، وتحمل الظروف البيئية القاسية، والعقم الذكرى الوراثى السيتوبلازمى، وجينات استعادة الخصوبة ... إلخ.

٢ – لدراسة احتمالات الحصول على قوة هجين أكبر كما فى الهجن النوعية لقصب السكر والبطاطس.

٣ – للحصول على أنواع جديدة مضاعفة هجينيًا، مثل الترتيكيل triticale.

٤ – لدراسة العلاقات التطورية بين الأنواع.

مستويات الصعوبات التى تواجه إنتاج الهجن النوعية

يقسم Hawkes (١٩٨٣) المستويات المختلفة للصعوبات التى تواجه المربى عند إجراء الهجن النوعية إلى خمسة مستويات تتدرج بالزيادة فى صعوباتها كما يلى:

المستوى الأول:

يعد هذا المستوى أقلها صعوبة؛ وفيه يكون النوع المحصولى والنوع البرى متقاربين

من بعضيهما وراثيًا؛ أى يكونان من مجمع جينى gene pool واحد؛ بسبب ما يكون قد حدث بينهما من تبادل جينى فى الطبيعة فى أزمنة سابقة، ومن أمثلة ذلك الهجين النوعى:

L. esculentum × *L. pimpinellifolium*

المستوى الثانى:

نجد فى هذا المستوى أن النوع المحصولى والنوع البرى ينتميان إلى مجمعات جينية مختلفة، إلا أن التهجين يكون ممكنًا، ويكون الجيل الأول الهجين خصبًا بدرجة عالية؛ حيث يحدث التقارن الكروموسومى بين كروموسومات النوعين فى أثناء الانقسام الاختزالى. ومن أمثلة ذلك الهجن النوعية التالية:

Oryza sativa × *O. nivara*

Lyscoersicon esculentum × *L. cheesmanii*

المستوى الثالث:

يعد هذا المستوى أكثر صعوبة، وفيه يختلف النوع المحصولى عن النوع البرى فى عدد الكروموسومات إلا أن الجيل الأول الهجين يمكن جعله خصبًا؛ بمضاعفة كروموسومات هذا الجيل (amphidiploidy). ومن أمثلة ذلك الهجين النوعى:

Brassica oleracea × *B. rapa*

الذى يعطى النوع *B. napus*.

المستوى الرابع:

يتطلب نجاح التلقيح فى هذا المستوى إجراء معاملات خاصة مثل زراعة الأجنة فى بيئات خاصة وهى مازالت فى بدايات تكوينها، ومن أمثلة ذلك الهجن النوعية التالية:

Solanum acaule × *S. bulbocastanum*

Lycopersicon esculentum × *L. peruvianum*

المستوى الخامس:

تعد تلقيحات هذا المستوى بعيدة جدًا وصعبة، وهى التى تكون بين أنواع تنتمى إلى أجناس مختلفة؛ كالتلقيح بين الطماطم *Lycoperscan esculentum*، والبطاطس

Solanum tuberosum. وقد أمكن التغلب على مصاعب التهجين، في حالات كثيرة كهذه بطريقة اندماج البرتوبلاست protoplast fusion في مزارع البرتوبلاست، إلا أنه نادرًا ما أمكن دفع هذه الهجن للنمو إلى مرحلة النضج. ويعد محصول الترتيكيل Triricale – وهو هجين بين القمح *Triticum*، والشيلم *Secale* حالة شاذة؛ نظرًا لأن التهجين يجرى بسهولة تامة، وقد وجد عدة مرات في الطبيعة.

نوعيات الصعوبات التي تواجه إنتاج الهجن النوعية

يواجه إنتاج الهجن النوعية نوعيات مختلفة من الصعوبات، كما يلي:

عوائق تقف حائلاً أمام نجاح التهجين وتكون الزيجوت الهجين

تحدث المعوقات أمام نجاح التهجينات النوعية إما بسبب عدم التوافق الجنسي، وإما بسبب تدهور الأجنة.

ويرجع عدم التوافق الجنسي إلى عدم التآلف في تفاعلات المتاع مع حبوب اللقاح؛ الأمر الذي ينتهي بفشل البويضة في تكوين زيجوت قادر على الاستمرار في النمو. وعلى الرغم من أهمية ظاهرة عدم التوافق الجنسي في الهجن النوعية فإنها لم تدرس باستفاضة مثلما درست في التلقيحات الصنفية، وفي حالات عدم التوافق الذاتي.

ويعد تدهور الجنين، وضعفه، وعقمه أهم معوقات نجاح الهجن النوعية، وهي الظاهرة التي قد ترجع إلى عدم قدرة الجنين على إكمال نموه، أو إلى تحلل الإندوسبرم، أو إلى التكوين غير الطبيعي لنسيج البويُضة، أو إلى عدم الثبات الكروموسومي أو الوراثي (عن Singh وآخرين ١٩٩٠).

وتوصف بالتنافر – أو عدم التطابق – incongruity الحالات التي توجد فيها عوائق سابقة للإخصاب أو بعده، يكون مردها إلى ابتعاد الأنواع الملقحة معًا عن بعضها البعض إلى درجة يتسبب معها فشلاً في تكوين علاقة تزاوج حميمة بينهما؛ لعدم توفر معلومات وراثية في أحد الأنواع المهجنة عن العوامل الحرجة في النوع الآخر. قد تتضمن ظاهرة التنافر سوء الاتصال بين حبة اللقاح والطور الجاميطي أو الاسبوروفيتي للبنات الأم. وقد يظهر التنافر على صورة فشل حبة اللقاح في التشبع بالرطوبة، أو الإنبات، أو اختراق الميسم، أو يكون بسبب فشل أنبوبة اللقاح في الانفجار لإطلاق الأنوية الذكرية، أو

بسبب فشل الأنابيب اللقاحية فى الوصول إلى البويضات، أو بسبب إجهاض الجنين، أو فشل الإندوسبرم فى التكوين، أو حتى بسبب تدهور الجنين وتحلله بعد بداية تكوينه (عن Liedl & Anderson ١٩٩٣).

ويلخص Allard (١٩٦٤) أهم الأسباب التى تقف حائلاً أمام نجاح إجراء التهجينات النوعية، فيما يلى:

١ – وجود عوائق أمام نمو حبة اللقاح:

فمثلاً .. قد يكون قلم الزهرة فى النوع المستخدم كأم أطول من قلم الزهرة فى النوع المستخدم كأب، وهو ما يعنى أن على حبوب اللقاح أن تنمو – فى مثل هذه الحالات – لمسافة أطول مما تكون عليه الحال فى الظروف الطبيعية. وقد يلجأ المربى إلى مضاعفة كروموسومات أحد الأبوين؛ لزيادة فرصة نجاح التهجين، إلاّ أن ذلك قد يؤدى إلا نتائج عكسية، إذا كان النوع المتضاعف هو المستخدم كأب، لأن حبوب اللقاح تكون ثنائية المجموعة الكروموسومية وسميكة، وقد يصعب عليها الإنبات فى قلم زهرة النوع الثنائى المستخدم كأم.

٢ – وجود عوائق أمام نمو الجنين:

قد يتم التلقيح والإخصاب بصورة طبيعية، وتنقسم اللاقحة، ويبدأ تكوين الجنين، إلاّ أنه لا يكمل نموه، وقد يتكون الجنين بصورة طبيعية، إلا أنه يتدهور فى أولى مراحل نموه الخضرى بعد زراعة البذور ويطلق على هذه الحالات مجتمعة اسم Hybrid Inviability؛ وهى ترجع إما إلى عدم التوافق بين التراكيب الوراثية لنوع الأبوين، وإما إلى عدم التوافق بين الجنين النامى والإندوسيرم. وتعرف الحالة الثانية فقط – أى حالة عدم التوافق بين الجنين النامى والإندوسبرم – باسم Somatoplastic sterility، وهى تحدث فى بعض الهجن النوعية البعيدة، التى لا يتكون فيها الإندوسيرم بصورة طبيعية؛ ويؤدى ذلك إلى عدم استطاعة الجنين إكمال نموه، لأنه يعتمد فى غذائه على الإندوسيرم، وقد يتكون نمو سرطانى يحيط بالجنين إحاطة تامة، ويترتب على ذلك توقف نمو الجنين واندثاره بعد فترة وجيزة من بداية تكوينه. ويتم التغلب على هذه المشكلة – عادة – بزراعة الأجنة، وهى فى المراحل الأولى لتكوينها – فى بيئات خاصة.

ضعف وعقم الجيل الأول للهجين النوعى

يمكن فى بعض الأحيان الحصول على بذور من الهجن النوعية الصعبة. وتعطى هـذه البذور عند زراعتها نباتات تامة النمو وخصبة أحيانًا، إلا أنها قد تكون عقيمـة – تمامًـا – أو قد تكون ضعيفة إلى درجة تجعلها عديمة الفائدة للمربى.

ويرجع ضعف نباتات الجيل الأول للهجن النوعية إلى أى من الأسباب التالية:

١ – وجود اختلافات تركيبية structural differences بـين كروموسـومات النوعـين المهجنين يصعب معـها تقارن الكروموسومات ثم انفصالها عـن بعضـها البعـض أثنـاء الانقسـام الاخـتزالى، وتعـرف تلـك الحالـة باسـم العقـم الكروموسـومى chromosomal sterility.

٢ – عدم التوافق بين كروموسـومات أحد النوعين وسيتوبلازم النوع الآخر، وقد تؤدى تلك الحالة إلى ضعف النباتات الهجين أو موتها.

٣ – عـدم التوافـق بـين الـتركيب الوراثـى للزيجـوت الهجـين، والـتركيب الوراثـى للإندوسبرم أو النسيج الأمى الذى يتصل به الجنين النامى.

أما عقم الجيل الأول الهجين، فإنه قد يكون أحد نوعين، كما يلى:

١ – عقم عاملى Genic Sterility:

يرجع العقم العاملى إلى وجود اختلافات كبيرة بين العوامل الوراثيـة للأبويـن، ومـن مظاهره .. عدم قدرة النبات على إنتاج أزهار، أو عدم قدرته على إتمام عمليـة الإنقسـام الاختزالى.

٢ – عقم كروموسومى Chromosomal Sterility:

يرجـع العقـم الكروموسـومى إلى وجـود اختلافـات عدديـة أو تركيبيـة كبـيرة بـين كروموسـومات الأبـوين، ومن مظاهرة عدم تقارن كروموسـومات الأبويـن بشـكل تـام فـى أثناء الانقسام الاختزالى، وحدوث تقارن بين أكثر من كروموسـومين فـى وحـدة واحـدة، وظهور تكوينات غير طبيعية للتقارن الكروموسـومى فى أثناء الانقسام الاختزالى.

ومن أمثلة الهجن النوعية العقيمة الهجين بين المشـمش *Prunus armenica*، واللـوز *Prunus amygdalus*، وهما نوعان قريبان نباتيًا، وفيهما ٢ن = ١٦. أجـرى التـهجين،

بغرض نقل بعض الصفات الهامة من المشمش إلى اللوز، وهى المقاومة للعناكب، وبكتيريا التثألل التاجى، ونيماتودا تعقد الجذور، وتحمل الرطوبة الأرضية الزائدة، والنضج المبكر. وقد أمكن – من عدد كبير من التلقيحات – الحصول على عدد قليل من النباتات الهجين التى كانت وسطًا فى صفاتها الخضرية، وأنتجت قليلاً من حبوب اللقاح الخصبة، إلا أنها كانت عقيمة أنثويًا تمامًا (Jones ١٩٦٨).

هذا .. ولا يكون لعقم الجيل الأول الهجين أية أهمية فى المحاصيل التى يمكن إكثارها خضريًا، وتزرع لأجل أجزائها الخضرية كما فى عديد من نباتات الزينة.

ومن أهم وسائل التغلب على حالة العقم فى الجيل الأول الهجين ما يلى:

١ – تلقيح الجيل الأول – رجعيًا – إلى أحد الأبوين، أو إلى كليهما؛ فقد تكون النباتات الناتجة من التلقيح الرجعى الأول لأحد الأبوين خصبة.

٢ – مضاعفة كروموسومات الهجين النوعى؛ للتغلب على حالة العقم الكروموسومى.

٣ – تطعيم الهجين النوعى على أصل من أى من نوعى الآباء، أو من نوع أو جنس آخر، ويؤدى ذلك أحيانًا إلى تهيئة الهجين النوعى – فسيولوجيًا – بطريقة تسمح بالتغلب على حالة العقم الجينى.

تدهور الجيل الثانى للهجن النوعية

يحدث تدهور الهجين hybrid breakdown فى الجيل الأول، أو الجيل الثانى – أو حتى فى الأجيال التالية لذلك فى الهجن النوعية – حينما تحدث أى مظاهر غير طبيعية تعوق استمرار النمو والتطور الطبيعيين؛ فيما يوصف – كذلك – باسم التدهور degeneration.

ومن أبرز مظاهر التدهور: ضعف النباتات، أو بطء نموها، أو تقزمها، وضعف خصوبة أعضاء التذكير، وضعف القدرة على إنتاج النسل، والاصفرار، وتشوه النمو الخضرى، مثل تشوه الأوراق وتكون الجذور العرضية (عن Liedl & Anderson ١٩٩٣).

وقد فسرت حالات التدهور تلك على أساس أن النبات يكون خصبًا عندما يحتوى على عوامل وراثية مكملة لبعضها البعض. فمثلاً .. قد يكون العامل A مكملاً للعامل B،

و العامل a مكملاً للعامل b، إلا أن العامل A لا يكــون مكمـلاً للعـامل b، ولا العـامل a مكملاً للعامل B، وتحتوى الأنواع المهجنة على هذه العوامـل فى صورة مكملة لبعضــها، وتكون خصبة، كأن تكون aa bb، و AA BB، ويكــون الجيـل الأول الهجـين بينـها ذا تركيب وراثى Aa Bb وخصبًا أيضًا. أما الجيل الثانى .. فتظهر فيـه انعـزالات كثـيرة، يكون بعضها خصبًا، مثل aa bb، و A- B-، ويكون بعضها عقيمًا، مثـل aa B-، و A- bb.

طرق التغلب على مشاكل إنتاج الهجن النوعية

معالجة مشكلة عدم نجاح التهجين النوعى

توصل مربو النبات إلى طرق فعالــة للتغلـب علـى كثـير مـن مشــاكل إنتـاج الهجـن النوعيـة فـى حـالات خاصـة إلا أن هـذه الطـرق لا تكـون – دائمًا – مجديـة فـى كـل الحالات، ولذا .. فإنه يلزم استمرار التجربة والخطأ ومحاولة اســتنباط وسـائل جديـدة تناسب كل حالة.

ومن الطرق التى أمكن التوصل إليها ما يلى:

١ – مضاعفة كروموسومات أحد – أو كلا – الأبوين الداخلين فى التهجين، وسـوف نتناول هذا الموضوع بالشرح تحت عنوان مستقل نظرًا لأهميته.

٢ – زراعة جنين أحد النوعين غير المتوافقين فى إندوسبرم النوع الآخر. وتعطى هذه الأجنة نباتات أكثر توافقًا مع النوع الذى استخدم إندوســبرمه عـن النباتـات العاديـة؛ فمثلاً .. وجد أن زراعة أجنة القمح فى إندوسبرم الشيلم يعطى نباتات قمح أكــثر توافقـا فى التلقيح مع الشيلم عن نباتات القمح العادية (عن Elliott ١٩٥٨). كمـا أمكـن إنتـاج هجن القمح مع الشعير بزراعة الأجنة – وهى فى بدايـة تكوينها فى إندوسبرم الشـعير، وقد كانت هذه الهجــن عقيمـة ذكريًـا، ولكنـها أنتجـت بـذورًا عندمـا لقحـت بـالقمح، واحتوت النباتات الناتجة على كل كرومو‌ســومات القمـح ونصـف كروموسـومات الشـعير (Jan وآخرون ١٩٨٢).

٣ – فصل الأجنة النامية وزراعتها فى بيئات خاصة فى الحالات التى لا يوجد فيها توافق بين الجنين النامى والإندوسبرم، ويكون الهدف الأساسى من ذلك هو مـد الجنـين

النامى بكل احتياجاته الغذائية؛ لمساعدته على النمو قبل أن يبدأ فى تكوين الأوراق والاعتماد على نفسه.

٤ - محاولة إجراء التهجين بين أصناف مختلفة من كلا النوعين؛ نظرًا لأن بعض الأصناف تكون متوافقة أكثر من غيرها. ويفيد فى هذه الشأن استعمال مخلوط من حبوب لقاح عدة أصناف فى تلقيح كل واحد من هذه الأصناف، ولكن يعاب على هذه الطريقة عدم معرفة هوية الأب الذى يكون متوافقًا مع الصنف المستخدم كأم.

إن من أهم الإنجازات التى تحققت فى مجال تربية النباتات تلك التى تضمنت إجراء تهجينات بين أنواع بعيدة تقسيميًا عن بعضها البعض؛ والتى نُقلت من خلالها صفات غاية فى الأهمية من الأنواع البرية إلى الأنواع المزروعة القريبة منها، ولقد كان اللجوء إلى مزارع الأجنة بهدف إنجاح تلك التهجينات والحصول منها على أجنة هجين مكتملة التكوين أحد أهم الوسائل التى لاقت نجاحًا كبيرًا فى هذا الشأن، حيث استخدمت فى عديد من الهجن النوعية، نذكر منها - على سبيل المثال - تلك التى أجريت فى الأجناس التالية:

Lycopersicon	*Oryza*	*Phaseolus*
Brassica	*Medicago*	*Hordeum*
Agropyron	*Triticum*	*Arachis*
Gossypium	*Glycine*	*Allium*
Trifolium	*Populus*	*Helianthus*
Lotus	*Vitis*	*Carica*
Citrus	*Actinidia*	*Solanum*

ولمزيد من التفاصيل عن أهمية استخدامات مزارع الأجنة فى نجاح إجراء الهجن النوعية .. يراجع Sharma وآخرين ١٩٩٦.

٥ - استعمال مخلوط من حبوب لقاح كلا النوعين عند إجراء التهجين؛ فيضاف - أولاً - إلى ميسم الأم كمية قليلة من لقاحها، ثم تضاف - بعد ذلك بفترة وجيزة - كمية أكبر من حبوب لقاح النوع المستخدم كأب، وتفيد حبوب لقاح الأم فى إخصاب بعض البويضات؛ فلا تسقط الزهرة مبكرة؛ وبذا تتوفر فرصة أكبر أمام حبوب لقاح نوع الأب لإخصاب بقية البويضات.

٦ – إجراء التهجين في كلا الاتجاهين؛ أي استعمال كل من النوعين كآباء وكأمهات في تلقيحات مختلفة؛ لأن التهجين قد يكون غير ناجح في أحد الاتجاهين، ولكنه ناجح في الاتجاه الآخر.

ويفضل أن يكون التهجين في اتجاه معين في الحالات الخاصة التالية:

أ – عند اختلاف عدد كروموسومات الأبوين .. يفضل استخدام النوع الأكثر في عدد الكروموسومات كأم، ولكن خلافًا لهذا الاعتقاد .. فإن عديدًا من الهجن البعيدة مع القمح يمكن عملها عندما يستعمل النوع الذي يحتوى على العدد الأقل من الكروموسومات كأم (Sharma ١٩٩٥).

ب – يفضل في حالة مضاعفة كروموسومات أحد النوعين أن يستخدم النوع المضاعف كأم.

جـ – في حالة وجود ظاهرة عدم التوافق الذاتي في أحد النوعين .. يفضل استعماله كأب.

٧ – محاولة إجراء التلقيح في مراحل مختلفة من النمو البرعمي والزهري، وغالبًا ما تكون التلقيحات البرعمية أكثر نجاحًا من تلك التي تجرى في الوقت الطبيعي.

٨ – إزالة الميسم بجزء من القلم؛ لأن ذلك يقلل المسافة التي تجب أن تقطعها الأنبوبة اللقاحية، التي غالبًا ما تقطعها ببطء وصعوبة. وفي هذا الشأن .. أفادت إضافة كمية صغيرة من الآجار مع السكر مكان الميسم المقطوع قبل إجراء التهجينات النوعية في الجنس *Solanum*.

٩ – معاملة متاع الأم ببعض منظمات النمو؛ مثل بتيا نفثوكس حامض الخليك βNAA لمنع سقوط الأزهار مبكرًا.

١٠ – تطعيم النوع المستخدم كأم على أصل من النوع المستخدم كأب. وتفيد هذه المعاملة في تهيئة الطعم (الأم) فسيولوجيًا لاستقبال حبوب لقاح النوع الآخر.

١١ – إذا كان من الصعب تهجين نوعين (أ)، و (ب) مباشرة .. فيفضل تهجين أحدهما – وليكن (أ) – مع نوع ثالث (جـ)، ثم تلقيح الهجين (أجـ) مع النوع الثاني (ب). ويسمى النوع (جـ) في هذه الحالة باسم النوع القنطرى Bridge Species (Briggs & Knowles ١٩٦٧).

١٢ – معاملة الأزهار عند إجراء التهجينات بمركب أمينوإيثوكسى فينيل جليسين aminoethoxyvinylglycine:

أدت المعاملة إلى تأخير سقوط الأزهار، إلى أن وصلت الأنابيب اللقاحية إلى البويضات. ويحدث المركب تأثيره بمنع تمثيل الإثيلين، وهو الهرمون الذى يعرف بدوره فى التعجيل بالشيخوخة، وتساقط الأزهار والثمار (Custers & Den Nijs ١٩٨٦).

١٣ – استخدام مزارع المبايض والبويضات.

١٤ – إدخال حبوب اللقاح فى المبيض مباشرة Intraovarian Pollination:

يتم فى هذه الطريقة حقن معلق لحبوب اللقاح مباشرة داخل المبيض من خلال ثقب جانبى فى المبيض، مع عمل ثقب فى الجانب الآخر؛ للسماح بخروج الهواء، يستمر حقن المعلق إلى أن يمتلئ كل فراغ المبيض ويظهر ذلك بخروج السائل من الثقب المقابل. ويلى ذلك .. سد الثقوب بجلى بترولى، اتبعت هذه الطريقة بنجاح فى بعض الهجن النوعية مثل *Argemone mexicana* × *A. ochroleuca* (عن Bhojwani & Razdan ١٩٨٣).

١٥ – تقنية مزارع الأزهار:

أمكن تهجين الفجل *Raphanus sativus* مع لفت الزيت *Brassica napus* بالاستعانة بتقنية مزارع الأزهار flower-culture technique دونما حاجة إلى مزارع مبايض أو مزارع أجنة (Metz وآخرون ١٩٩٥).

معالجة مشكلة التنافر

إن من أهم الطرق التى اقترحت حديثًا للتغلب على ظاهرة التنافر فى الهجن النوعية – وهى التى تؤدى إما إلى عقم الجيل الأول الهجين، وأما تدهوره فى الأجيال التالية – ما يلى:

١ – التلقيح الرجعى للتغلب على التنافر Congruity Backcrossing:

يتم فى هذه الطريقة إجراء التهجين الرجعى لأحد الأبوين – بالتبادل – فى الأجيال المتعاقبة، كما يلى:

النسل	نسبة جينات A	نسبة جينات B	السيتوبلازم
A × B	٥٠,٠	٥٠,٠	A
(A × B) × A	٧٥,٠	٢٥,٠	A
[(A × B) × A] × B	٣٧,٥	٦٢,٥	A
[(A × B) × A) × B] × A	٦٨,٧٥	٣١,٢٥	A

وتفيد هذه الطريقة عندما يخشى من تدهور الخصوبة بعد الجيل الأول الهجين، ومن مظاهر ذلك عدم اكتمال خصوبة الهجين ذاته بالدرجة الكافية.

٢ – التلقيح القنطرى المتكرر للهجين:

يتم فى هذه الطريقة المقترحة للتغلب على التنافر استعمال الجيل الأول الهجين النوعى كقنطرة لنقل نواة أحد النوعين إلى سيتوبلازم النوع الآخر، كما يلى (عن Liedl & Anderson ١٩٩٣):

النسل	نسبة جينات A	نسبة جينات B	السيتوبلازم
A × B	٥٠,٠	٥٠,٠	A
B × (A × B)	٢٥,٠	٧٥,٠	B
[B × (A × B)] × (A × B)	٣٧,٥	٦٢,٥	B
[(B × (A × B)) × (A × B)] × (A × B)	٤٣,٧٥	٥٦,٢٥	B
[((B × (A×B)) × (A×B)) × (A×B)] × A	٧١,٨٧٥	٢٨,١٢٥	B

التغلب على مشكلة العقم بمضاعفة الكروموسومات

عندما يكون الجيل الأول للهجن النوعية عقيمًا عقمًا تامًا .. فإن مضاعفة عدد كروموسومات الجيل الأول الهجين وجعله متضاعفًا هجينيًّا amphiploid تعد أفضل وسيلة للتغلب على مشكلة العقم؛ لتأمينها لحدوث اقتران كروموسومى كامل بين كروموسومات متماثلة.

ولقد ساعد التحكم فى مستوى التضاعف الكروموسومى فى حالات الهجن النوعية، فيما يلى:

١ – التغلب على مشكلة عدم التوافق الخلطى.

٢ – توفير التوازن المطلوب لتقبُّل الهيئة الكروموسومية الغريبة.

٣ – استعادة الخصوبة فى الهجن العقيمة.

٤ – توفير قنطرة وراثية genetic bridge لنقل الجينات بين الأنواع.

٥ – تنظيم تقارن الكروموسومات لتأمين نقل أجزاء كروموسومية تحوى الجينات المرغوب فيها.

من بين الأمثلة الناجحة لتلقيحات نوعية أفاد فيها إحداث التضاعف الكروموسومى تلك التى أجريت فى أجناس معينة، مثل: *Trifolium*، و *Medicago*، و *Hibiscus* (عن Singh ١٩٩٣).

رقم توازن الإندوسبرم وأهميته فى التغلب على العقم فى الهجن النوعية

أهمية الإندوسبرم فى نمو الجنين واكتمال تكوينه

نجد فى حالات الهجن النوعية التى ينهار فيها تكوين الإندوسبرم أن التزاوج يحدث ويبدأ تكوين الجنين، ولكن ما أن تتكون حوالى ١٠–١٥ خلية إندوسبرمية حتى يفشل هذا الإندوسبرم الناشئ فى التميز كمصدر لتغذية البذرة. ومع اضطراب التوازن الغذائى يحدث نمو زائد – بصورة غير طبيعية – للنسيج الأمى، يتبعه انهيار الإندوسبرم. ويؤدى ذلك التدهور فى الإندوسبرم التى تحلل الجنين. وتلك هى المراحل التى تحدث فى كل الهجن النوعية التى يفشل فيها تكوين الإندوسبرم، وإن اختلفت فى سرعة حدوثها بين مختلف الهجن (عن Liedl & Anderson ١٩٩٣).

أهمية توازن العدد الكروموسومى فى تكوين الإندوسبرم

يعتقد أن عدم التناسق الكروموسومى فى الهجن النوعية قد يؤدى إلى الإنتاج الهرمونى غير المتوازن من قِبَل الإندوسبرم؛ ومن ثم تدهور الجنين، أو قد تؤدى حالة عدم التناسق الكروموسومى تلك إلى الإنتاج غير المنظم لإنزيمات الـ nucleases والـ proteases التى قد تقود إلى حدوث تحلل ذاتى للإندوسبرم وهضم للجنين (Lester & Kang ١٩٩٨).

تقديم لنظرية عدد توازن الإندوسبرم

بناء على ما تقدم بيانه .. فقد فُسِّرَ تكوين الإندوسبرم من عدمه في الهجن النوعية على أساس ما يعرف بنظرية "عدد توازن الإندوسبرم" Endosperm balance number (اختصارًا: EBN). وحسب تلك النظرية، فإن الـ EBN يجب أن يكون بالنسبة المناسبة في الإندوسبرم، وهي: اثنان EBN أميان: واحد EBN أبوى، لكي يتكون الإندوسبرم بصورة طبيعية؛ علمًا بأن الـ EBN لا يرتبط مباشرة بمستوى التضاعف؛ فقد يختلف الـ EBN بين نوعين بهما نفس مستوى التضاعف، وقد يتساوى الـ EBN في نوعين يختلفان في مستوى التضاعف.

وتفترض النظرية أن الـ EBN يتحكم فيه جينات معينة تحمل على كروموسوم أو أكثر من الهيئة الكروموسومية للنوع المعنى، ولكن تلك العوامل المسئولة عن الـ EBN لم تحدد بعد، ولم يعرف أى دليل على وجودها.

نظرية رقم توازن الإندوسبرم

يتوقف استمرار الجنين في نموه إلى حين اكتمال تكوينه – في كل مغطاة البذور – على النمو الطبيعي للإندوسبرم؛ وبذا .. فإن التكوين الطبيعي للإندوسبرم يعد متطلبًا أساسيًا لنجاح أى تهجين نوعي. ومن أهم شروط التكون الطبيعي للإندوسبرم أن تكون نسبة الكروموسومات الأمية إلى الأبوية ٢ : ١؛ الأمر الذى يتحقق في التلقيحات الصنفية وفي عديد من التهجينات النوعية. هذا إلا أنه يعرف العديد من التلقيحات النوعية التى لا يعتمد فيها التكون الطبيعي للإندوسبرم على النسبة ٢ : ١ للكروموسومات الأمية والأبوية، ومثال ذلك التهجين بين *Solanum acaule* (وفيه ٢ن = ٤س = ٤٨) كأم، و *S. tuberosums* وفيه (٢ن = ٤س = ٤٨) كأب، والذى لا يعطى أى بذور، بينما يتلقح *S. acaule* بنجاح تام مع أنواع كثيرة ثنائية التضاعف وحتى مع *S. tuberosum* الثنائى (٢ن = ٢س = ٢٤). ويعنى ذلك أنه على الرغم من توفر النسبة الكروموسومية ٢ : ١ في التهجين بين *S. acaule* والبطاطس الرباعية فإن الجنين يفشل في إكمال نموه، بينما تنجح التهجينات بين *S. acaule* والأنواع الثنائية، وهى التلقيحات التى تكون فيها النسبة الكروموسومية ٤ : ١.

ولتفسير تلك النتائج المخالفة للنظرية التى كانت سائدة وضع Johnston فى عام ١٩٨٠ نظرية جديدة أطلق عليها نظرية رقم توازن الإندوسبرم endosperm balance number (اختصارًا EBN)؛ لأجل تحديد عامل واحد موحد يتحكم فى التكوين الطبيعى للإندوسبرم فى الهجن الصنفية التى تتضمن مستويات مختلفة من التضاعف، وكذلك فى الهجن النوعية.

وتبعًا لتلك النظرية .. فإن لكل نوع مستوى معين من التضاعف خاص بهيئته الكروموسومية، يعرف برقم التوازن الإندوسبرمى EBN هو الذى يحدد تطور تكوين الإندوسبرم فى التلقيحات مع الأنواع الأخرى. ولكى تكون التلقيحات ناجحة، فإن إندوسبرم الهجين يجب أن تكون فيه نسبة EBN ٢ من الأم: ١ من الأب. وإذا ما انحرفت نسبة الـ EBN عن ذلك فإن الإندوسبرم يتحلل أثناء تكونه.

وتجدر الإشارة إلى أن رقم توازن الإندوسبرم قد يختلف بين نوعين يتماثلان فى مستوى التضاعف. فمثلاً .. يتلقح *Solanum chacoense* الثنائى التضاعف (٢س) بسهولة مع النوع *S. acaule* الرباعى (٤س)؛ لينتج نسل ثلاثى التضاعف (٣س)، بينما لا يتلقح *S. chacoense* الثنائى التضاعف مع *S. tuberosum* الرباعى التضاعف؛ مما يدل على أن الأخير ليس له نفس رقم التوازن الإندوسبرمى الخاص بالنوع *S. chacoense*. وقد وجد أن مضاعفة عدد كروموسومات *S. chacoense* ليصبح رباعى التضاعف (٤س)، تجعله يتلقح بسهولة تامة مع *S. tuberosum*. ويعنى ذلك أن عدد التوازن الإندوسبرمى فى *S. tuberosum* الرباعية التضاعف لابد وأن يكون أربعة.

وتبعًا لما سبق بيانه، وتأسيسًا على نظرية رقم توزان الإندوسبرم .. فإن التهجين بين *S. acaule* و *S. tuberosum* يجب ألا يعطى إندوسبرم طبيعى إلاّ عندما يكون بين *S. acaule* مضاعفة (٤س)، و *S. tuberosum* (٢س)، أو بين *S. acaule* ثمانية (٨س) مع *S. tuberosum* عادية (٤س)، وهذا ما ثبت بالفعل. ولقد تأكدت صحة هذه النظرية من خلال تلقيحات أخرى نوعية فى الأجناس *Solanum*، و *Impatiens*، و *Trifolium*، و *Avena*. وتفسر تلك النظرية – كذلك – الاختلافات المشاهدة بين الهجن النوعية فى اتجاه ما والهجن النوعية ذاتها فى الاتجاه الآخر؛ فعلى الرغم من أن التركيب الوراثى للجنين يكون متماثلاً فى الحالتين، إلاّ أن الإندوسبرم سوف يختلف فى نسبة الـ

EBN، فمثلاً يعطى التلقيح: (4EBN x 2EBN) نسبة EBN أمية: أبوية ٤:١، بينما تكون تلك النسبة فى التلقيح العكسى ١:١.

ويستفاد مما تقدم أن اشتراك النوعين فى نفس مستوى التضاعف ليس شرطًا لنجاح التهجين النوعى بينهما؛ فالعبرة هى فى أن تكون نسبة رقم التوازن الإندوسبرمى الأمى إلى الأبوى ٢:١؛ وفى المقابل .. يمكن الاستفادة من التضاعف فى توفير رقم التوازن الإندوسبرمى المناسب لتحقيق النسبة المطلوبة لنجاح التهجين.

وعندما تتوفر لدينا معلومات عن رقم توازن الإندوسبرم فى مجموعة من الأنواع التابعة لجنس ما فإنه يمكن التنبؤ بإمكان نجاح أى تهجين نوعى من عدمه، وبما يلزم إحداثه من تضاعف كروموسومى لتأمين نجاح التهجين.

وعلى الرغم من أن تحقيق نسبة رقم توازن الإندوسبرم الأمية إلى الأبوية يعد ضروريًا لنجاح التهجين النوعى، إلاّ أن التهجين قد يفشل لأسباب أخرى، مثل العوائق السابقة للإخصاب وعدم التوافق بين الهيئات الكروموسومية للأنواع المهجنة.

وقد أوضحت دراسات أخرى حديثة أن رقم توازن الإندوسبرم ليس خاصًا بكل الهيئة الكروموسومية؛ ففى الداتورة *Datura strammonium* التى يوجد بها ١٢ كروموسومًا .. يتحدد رقم التوازن الإندوسبرمى بكروموسومين فقط؛ وفى التهجين بين *S. commersonii* كأم مع *S. chacoense* كأب وجد أن رقم التوازن الإندوسبرمى يتحكم فيه ثلاث جينات غير مرتبطة (عن Singh وآخرين ١٩٩٠).

ولمزيد من التفاصيل عن نظرية الـ EBN .. يراجع Liedl & Anderson (١٩٩٣).

الهجن النوعية الطبيعية وأهميتها فى نشأة الأنواع وتطورها

يعتقد أن أنواعًا كثيرة قد نشأت – طبيعيًا – من هجن نوعية بعيدة، وأن بعض هذه الهجن كان بين أجناس نباتية مختلفة. ومن بين النباتات التى يعتقد نشأتها بهذا الشكل السوسن، والأوركيد، والقنّا، والداليا، والجلاديولس، والورد، والبنفسج، والحور.

كما حدثت هجن نوعية كثيرة صاحبت نشأة عدد من الفواكه المهمة؛ مثل التفاح،

والبرقوق، والكريز، والبندق، والعنب، وعديد من الفواكه الأخرى ذات الثمار الصغيرة التى تتبع الجنس *Rubus*، الذى يشتمل على أنواع كثيرة جدًّا توجد فيها الكروموسومات فى مضاعفات للعدد الأساسى ٧ حتى ١٢ ضعفًا، وهو يتضمن الراسبرى rasberry (ثنائى غالبًا)، والبلاكبرى blackberry والدوبرى dewberry (معظمها ثنائية وبعضها به ٦ مضاعفات أو أكثر للعدد الأساسى) والنسبرى nessberry، واللونجانبرى longanberry، وبويزنبرى boysenberry. وقد نشأ النسبرى (٤س) من التهجين بين *Rubus trivialis* (٢س)، و *R. strigosus* (٢س)؛ حيث إن الأول هو الدوبرى الجنوبى، والثانى هو الراسبرى الأمريكى، ونشأ اللونجانبرى *R. longanbaccus* (٦س) من التهجين بين الدوبرى الأمريكى *R. ursinus* (٨س)، والراسبرى الأوروبى *R. idaeus* (٢س)؛ حيث اتحدت جاميطات (٢ن) من الثانى مع جاميطات (١ن) من الأول. وقد تهجن اللونجانبرى بدوره مع الدوبرى الشرقى، ونتج من ذلك الينجبرى youngberry الذى يحتوى على نفس عدد الكروموسومات مثل اللونجانبرى، ولكنه لا يلقّح معه.

وقد نشأت بعض المحاصيل الاقتصادية المهمة مثل القمح، والشوفان، والقطن، وبعض الكرنبيات، والتبغ، وقصب السكر (وهى التى تعد نباتات متضاعفة هجينيًّا، شبيهة بالثنائية amphidiploids) من هجن نوعية بعيدة. وفيما عدا ذلك .. فلم يكن للهجن النوعية الطبيعية دور كبير فى نشأة محاصيل الحبوب، والألياف، والزيوت، والعلف. كما لم تتأثر محاصيل الخضر – كثيرًا – بالهجن النوعية الطبيعية باستثناء البطاطس، والبطاطا.

الهجن النوعية الصناعية وأهميتها فى تربية النباتات وتحسينها

مقدمة

تجرى التهجينات النوعية – بصورة أساسية – بهدف نقل جين ما مرغوب فيه أو عدد قليل من الجينات من نوع لآخر، ونادرًا ما تجرى بهدف تركيب نوع نباتى جديد.

وعندما يكون الهدف من التهجين النوعى نقل جين أو جينات معينة من نوع برى لأحد الأنواع المزروعة، فإن استمرار التهجين الرجعى للأب المزروع يعمل على عودة عدد

الكروموسومات إلى ذلك الخاص بالنوع المزروع، مع استعادة الصفات البستانية أو المحصولية لهذا النوع. ولقد اتبعت تلك الطريقة فى نقل جينات مرغوب فيها إلى الأنواع المحصولية المزروعة فى عديد من الحالات؛ منها الأجناس: *Nicotiana*، و *Brassica*، و *Triticum* (عن Singh وآخرين ١٩٩٠).

وعندما تكون كروموسومات النوعين المهجنين متماثلة فى العدد والتركيب، فإنها تتقارن فى الجيل الأول الهجين، وتكوّن وحدات ثنائية الكروموسوم bivalents بانتظام أثناء الانقسام الاختزالى؛ وبذا .. تكون نباتات الجيل الأول خصبة.

ومن أمثلة تلك التهجينات ما يلى:

١ – الهجين بين *Glycine max* (فول الصويا المزروعة، وفيها ٢ن = ٢س = ٤٠)، والنوع *G. soja* (فول الصويا البرية، وفيها ٢ن = ٢س = ٤٠).

٢ – الهجين بين *Gossypium hirsutum* (القطن الأمريكى الـ upland، وفيه ٢ن = ٢س = ٥٢)، و *G. barbadense* (القطن الأمريكى الـ Pima، وفيه ٢ن = ٢س = ٥٢).

٣ – الهجين بين *Zea mays* (الذرة الشامية، وفيه ٢ن = ٢س = ٢٠)، و *Z. mexicana* (الـ teosinte، وفيه ٢ن = ٢س = ٢٠).

٤ – الهجين بين *Lycopersicon esculentum* (الطماطم وفيها ٢ن = ٢س = ٢٤)، و *L. piminellifolium* (الطماطم البرية – current tomato – وفيها ٢ن = ٢س = ٢٤).

وبالإضافة إلى الهجن السهلة الخصبة التى تقدم بيانها، فإنه تعرف حالات أخرى ناجحة من الهجن النوعية التى تعد أكثر صعوبة فى إجرائها، مثل:

١ – الهجن النوعية التى يتعين فيها مضاعفة أعداد كروموسومات جاميطات الآباء لكى يكون الجيل الأول الهجين خصبًا:

تعرف الهجن الناتجة من تلك التلقيحات النوعية بأنها متضاعفة هجينيًّا amphiploids، ومن أمثلتها العديد من الهجن التى تجرى بين أنواع الجنس *Brassica*، وقد تُضاعف كروموسومات الجيل الأول الهجين – بعد إجراء التهجين بين الآباء غير المضاعفة – حيث يعرف الهجين الناتج بأنه amphiploid وهى التى تعرف فى عديد من الأجناس، مثل *Brassica*، و *Triticum*، و *Gossypium*، و *Nicotiana*.

٢ – الهجن النوعية التى تجرى بعد مضاعفة كروموسومات أحد الأنواع؛ ليمكن تهجينه مع أحد الأنواع الأخرى المتضاعفة.

٣ – الهجن النوعية التى تجرى بين نباتات أحادية من نوع رباعى التضاعف ذاتيًّا مثل البطاطس (حيث تعرف النباتات الأحادية باسم dihaploids) وأنواع أخرى ثنائية من الجنس ذاته (عن Poelham & Sleper ١٩٩٥).

ونظرًا لأن السيتوبلازم يُحصل عليه – فى الهجين النوعى – من النوع المستخدم كأم فى التهجين؛ لذا .. كان لزامًا تحديد ذلك عند وصف التركيب الوراثى للهجين.

ولقد أقتُرِحَ استعمال حرف أبجدى واحد كبير – وهو ذلك الذى يستخدم بالصورة الصغيرة lower case فى تمثيل الهيئة الكروموسومية – لوصف السيتوبلازم الذى يحتويه الهجين النوعى؛ فمثلاً يحتوى النوع *Brassica oleracea* على هيئة كروموسومية (جينوم genome) تتكون من ٩ أزواج من الكروموسومات، وتأخذ الرمز cc ويُرمز للسيتوبلازم بالرمز C، ويرمز إلى الهجين *B. oleracea* فى سيتوبلازم الفجل (rr) بالرمز Rcc، كما يرمز إلى الهجين *B campestris* (aa) فى سيتوبلازم الفجل بالرمز Raa، وإلى الهجين *B. juncea* (ab) فى سيتوبلازم *B. campestris* بالرمز Aab؛ ولتفاصيل التهجينات النوعية .. يراجع شكل (١٣–٣) (عن Dickson & Wallace ١٩٨٦).

الترتيكيل: نوع جديد "مركب" من تهجين القمح مع الشيلم

يعد الترتيكيل Triticale (*Triticosecale* sp.) أحد محاصيل العائلة النجيلية، وهو من الحبوب الصغيرة، ويمثل أول محاولة ناجحة لتركيب محصول جديد بالتهجين بين جنسين مختلفين، هما قمح الخبز السداسى *Triticum vulgare*، والشيلم *Secale cereate*. وكان التلقيح قد أجرى – أصلاً – بهدف جمع صفة المقاومة للبرودة، التى توجد فى الشيلم مع الصفات المرغوب فيها للقمح.

يتشابه الترتيكيل – مورفولوجيًّا – مع القمح فى شكل النبات وصفات الحبة، إلا أنه يمتاز عنه بزيادة فى كل من قوة النمو وحجم الحبة، كما أن السفا فيه أطول،

ويتحدد إن كان الترتيكيل من النوع الربيعى، أو الشتوى بنوع وصنف القمح المستخدم فى التلقيح مع الشيلم.

وقد عرفت من الترتيكيل أنواع سداسية (٢ن = ٦س = ٤٢ كروموسومًا)، وأخرى ثمانية (٢ن = ٨س = ٥٦ كروموسومًا) منذ أكثر من مئة عام، تكونت الأولى (السداسية) عندما هجن القمح الرباعى (٢ن = ٤س = ٢٨ كروموسومًا) مع الشيلم، (٢ن = ٢س = ١٤ كروموسومًا)، ثم ضوعفت كروموسومات الجيل الأول الهجين. أما الأنواع الثمانية فقد أنتجت بتهجين القمح السداسى (٢ن = ٦س = ٤٢ كروموسومًا) مع الشيلم، ثم مضاعفة كروموسومات الجيل الأول الهجين. ونظرًا لأن إنتاج الطرز الثمانية كان أسهل من الطرز السداسية التى كانت أكثر خصوبة؛ لذا فإنها حظيت باهتمام أكبر فى بادئ الأمر، إلى أن تبينت أفضلية الطرز السداسية التى كانت أكثر خصوبة، كذلك .. أنتجت طرز رباعية (٢ن = ٤س = ٢٨ كروموسومًا) من الترتيكيل على نطاق تجريبى فقط، ووجد أنها أقل فى صفاتها الحقلية والتجارية من الطرز الأخرى.

وقد أنتج الصنف روزنر Rosner فى كندا كأول صنف تجارى من الترتيكيل، وكان واضحًا تفوق هذا الصنف على الطرز التى سبقته من التريتكيل فى قوة الساق (لتجنب الرقاد) والخصوبة والتبكير فى النضج، إلا أنه كان حساسًا للفترة الضوئية، وقليل المحصول. وقد أعقب ذلك إنتاج سلالات الأرماديللو Armadillo فى المكسيك. وقد تميزت هذه السلالات بعدم حساسيتها للفترة الضوئية، وارتفاع محصولها، وقد كانت ٦٠٪ منها أعلى محصولاً من الصنف روزنر، كما كانت ٢٪ منها أعلى محصولاً من أكثر أصناف القمح الكندية إنتاجية. وقد وصل محصول بعض هذه السلالات إلى ٦٧٠٠ كجم/هكتار فى كاليفورنيا، وهو يقارب ما تنتجه أعلى أصناف القمح محصولاً. هذا .. ويفوق الترتيكيل القمح فى محتواه من البروتين والأحماض الأمينية الضرورية. ولمزيد من التفاصيل عن هذا الموضوع .. يراجع Larter (١٩٧٩).

الهجن النوعية فى الجنس *Fragaria*

تعد الفراولة *Fragaria × ananassa* من الأمثلة الناجحة للهجن النوعية (تشير علامة الضرب × فى الاسم العلمى إلى أنه ناتج من هجين)؛ فقد جرت محاولات كثيرة فى أوروبا

لعزل تراكيب وراثية جيدة من الأنواع البرية التى كانت شـائعة، وهـى *F. moschata*، و *F. vesca*، و *F. viridis*، ومن النوعـين *F. chiloensis*، و *F. virginiana* – اللذين نقلا إلى أوروبا من الأمريكتين – إلاّ أن هذه المحاولات لم تثمر النتائج التى كانت مرجوة منها، وعندما هُجِّن المزارعون النوعين الأخيرين فى القرن الثامن عشر، ظهرت انعزالات كثيرة فى النسـل، وانتخبت الطرز الجيدة لتتطور فيما بعد إلى الفراولة المزروعة.

نقل كروموسومات أو أجزاء من كروموسومات من نوع لآخر

يعـرف نقـل كروموسـومات أو أجـزاء كروموسـومية مـن نـوع إلى آخـر باسـم Introgression، وهى ظاهرة تحدث طبيعيًّا، وكان لها فضـل كبـير فـى تطـور النباتـات المزروعة، كما أنها تتحقق من خلال برامـج التربيـة بـإجراء التـهجين النوعـى المرغـوب فيه، ثم إجراء تهجينات رجعية متتابعة لأحد الآباء؛ بغرض تحسين الخصوبـة والقـدرة على التكاثر واستعادة صفات النوع الرجعى، مع إضافة بعض الجينات من النوع الآخر.

ويفيد التلقيح الرجعى – كثيرًا – فى التغلب على حالة العقم التى تنشأ بعد تـهجين نوعـين بعيديـن عـن بعضيـهما مـن الناحيـة الوراثيـة؛ لأن الهجـين لا يكـون متوازنًـا سيتولوجيًّا، ولا تتقارن الكروموسومات الآتية من نوعى الآباء مع بعضهما بشـكل جيـد، ويسرع التلقيح الرجعى إلى أحد الآباء فى التغلب على حالـة عـدم التـوازن السـيتولوجى هذه، وربما تكون المحصلة النهائية لعملية التلقيح الرجعـى هـى إضافـة زوج كـامل مـن الكروموسومات إلى النوع المراد تحسينه ليصبح ٢ن + ٢؛ وبـذا .. تتكـون سـلالة إضافـة كروموسومية chromosome addition line؛ أو أن يحـل زوج كـامل مـن الكروموسـومات محل زوج من كروموسومات النوع المراد تحسينه؛ ليصبـح ٢ن – ٢ + ٢؛ وبـذا تتكـون سـلالة إحلال كروموسومى Chromosome substitution line. وقد تنقل أجزاء صغيرة من الكروموسومات إلى النوع المراد تحسينه مـن خـلال الانتقـالات الكروموسـومية، ويـتراوح طول الأجزاء المنتقلة من جين واحد إلى أجزاء كبيرة من الكروموسومات.

ومن أشهر الأمثلة على النقل الكروموسومى من نوع إلى آخر .. حـالات نقـل صفـات المقاومة للأمراض من الأجناس *Agropyron*، و *Aegilops*، و *Secale* إلى القمـح. وتكفـى عدة تهجينات رجعية إلى النوع المزروع لإكمال النقل الكروموسومى فى الحـالات التـى لا

تختلف فيها الأنواع المهجنة كثيرًا عن بعضها، أما إن كانت الأنواع المهجنة بعيدة عن بعضها .. فإن نقل الأجزاء الكروموسومية المرغوب فيها يتم بتعريض نباتات الجيل الأول للإشعاع لإعطاء الفرصة لحدوث الكسور والالتحامات الكروموسومية المرغوب فيها، وطبيعي أن يكون ذلك متبوعًا بعدة تلقيحات رجعية إلى النوع المراد تحسينه (عن Allard ١٩٦٤، و Briggs & Knowels ١٩٦٧).

التهجين بين القمح والجنس *Aegilops*

تحتوى الحشيشة البرية *Aegilops umbellulata* على صفة المقاومة لمرض صدأ الأوراق التى يتحكم فيها جين واحد سائد، بينما لا توجد هذه المقاومة فى القمح السداسي *Triticum aestivum*. ونجد فى القمح أن ٢ن = ٦س = ٤٢ كروموسومًا بواقع ٧ أزواج من الكروموسومات من كل من الهيئات الكروموسومية A، و B، و D؛ بينما نجد أن الوضع الكروموسومي فى النوع *A. umbellulata* هو ٢ن = ٢س = ١٤ كروموسومًا؛ بواقع ٧ أزواج من كروموسومات الهيئة الكروموسومية C. وبينما يتلقح كل من القمح والنوع *A. umbellulata* مع أنواع أخرى كثيرة .. فإن التلقيح بينهما لا ينجح.

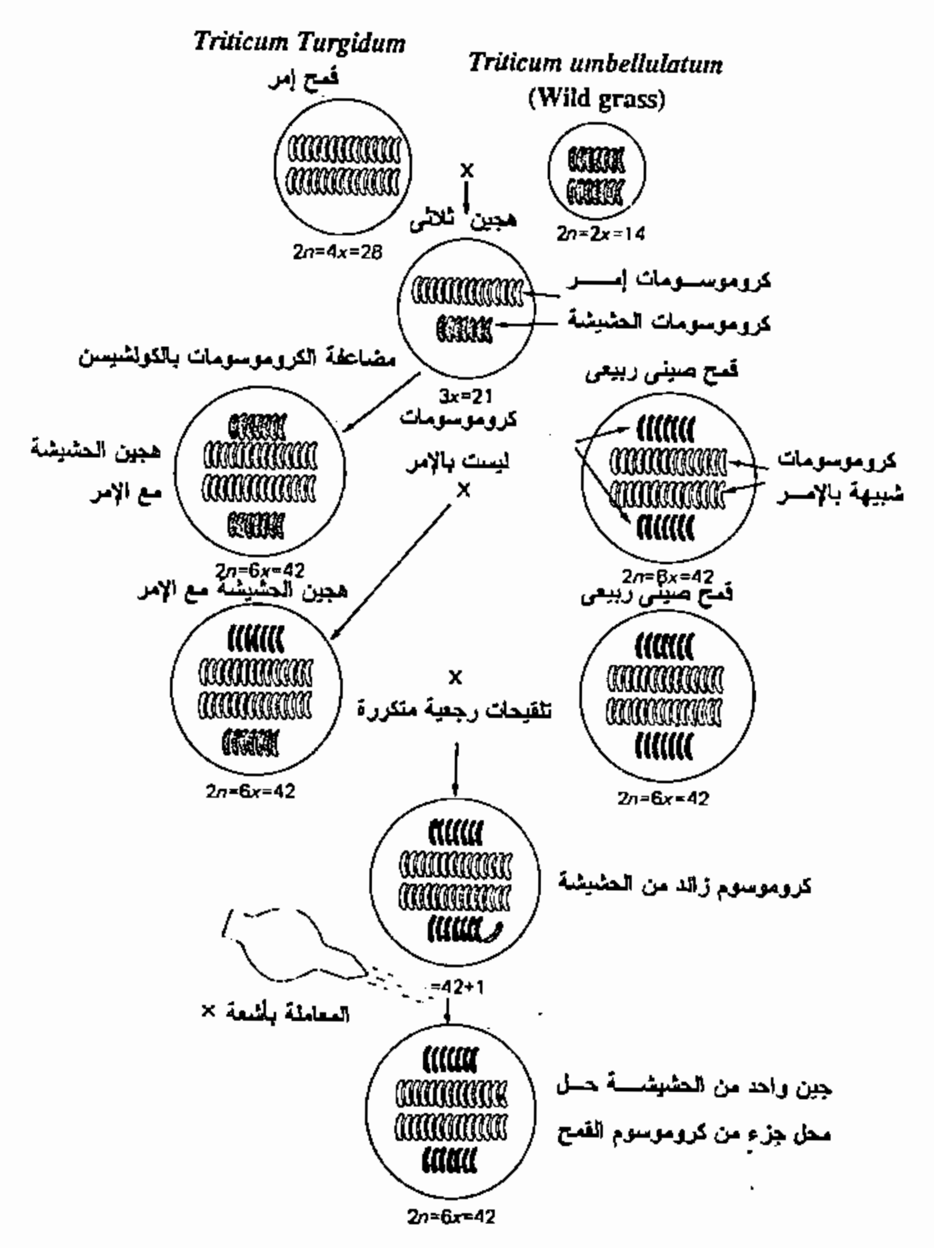
وللتغلب على هذه المشكلة – لنقل صفة المقاومة لصدأ الأوراق من *Aegilops* إلى القمح – هجَّن E. R. Sears القمح emmer الرباعى *T. dicoccoides* (٢ن = ٤س = ٢٨ كروموسومًا بواقع ٧ أزواج من كل من الهيئتين الكروموسوميتين A، و B) مع النوع *Aegilops*، وقد كان الهجين بينهما ثلاثيًا وعقيمًا (٢ن = ٣س = ٢١ كروموسومًا بواقع ٧ كروموسومات من كل من الهيئات الكروموسومية A، و B، و C)، وأدت مضاعفته إلى إنتاج هجين متضاعف شبيه بالثنائى amphidipoid بـه ٢ن = ٦س = ٤٢ كروموسومًا؛ بواقع ٧ أزواج من الكروموسومات من كل من الهيئات الكروموسومية A، و B، و C. وكان هذا الهجين المتضاعف خصبًا جزئيًا فى تلقيحاته مع قمح الخبز السداسي، ونتج من محاولات تلقيحه مع القمح هجين، كان بـه ٢ن = ٦س = ٤٢ كروموسومًا بواقع ٧ أزواج من الكروموسومات من كل من الهيئتين الكروموسوميتين A، و B؛ و ٧ كروموسومات من كل من الهيئتين الكروموسوميتين C، و D (أى كان الهجين: AA BB CD). وقد ظهر بالهجين فى أثناء الانقسام الاختزالى ١٤ وحدة ثنائية الكروموسوم (وهى الخاصة بالهيئتين A، و B)، و ١٤ وحدة أحادية الكروموسوم (وهى الخاصة

بالهيئتين C، و D)، وكان الهجين مقاومًا للصدأ وأقرب فى شكله المظهرى من الحشيشة *Aegilops*. وكانت حبوب لقاحه عقيمة إلى حد كبير، إلاّ أنه أنتج بعض البذور لدى تلقيحه ذاتيًا. وقد قام Sears بتلقيح هذه النباتات رجعيًا، إلى قمح الخبز عدة مرات مع انتخاب النباتات المقاومة للصدأ بعد كل تلقيح. وقد تبين بعد إجراء عدة تلقيحات رجعية أن النباتات المنتخبة كانت ثلاثية الكروموسوم trisomics (أى تحتوى على كروموسوم زائد، وفيها ٢ن = ٤٣)، وتبين أن الكروموسوم الزائد كان من الهيئة الكروموسومية C. وكانت هذه النباتات قليلة الخصوبة، وأسهم فيها الكروموسوم الزائد بعديد من الجينات غير المرغوب فيها؛ مثل التبكير فى الإزهار، وضعف المحصول.

وقد أكمل Sears الحلقة الأخيرة من هذا البرنامج بمعاملة النباتات التى تحتوى على ٤٣ كروموسومًا بالإشعاع قبل الانقسام الاختزالى، ثم استخدم حبوب اللقاح التى أنتجتها فى تلقيح أزهار نباتات أخرى من نفس الهجين لم تعرض للإشعاع، وأعطت هذه التلقيحات ٦٠٩١ نباتًا، كان من بينها ١٣٢ نباتًا مقاومًا للصدأ، ومن بين الفئة المقاومة للصدأ تبين وجود تبادل لأجزاء كروموسومية reciprocal chromosonal interchange فى ١٢ نباتًا منها؛ أى إن كل نبات من الاثنى عشر نباتًا كان به انتقال لقطعة من كروموسوم النوع *Aegilops* – تحتوى على الجين المسئول عن المقاومة للصدأ – إلى أحد كروموسومات القمح. وكانت معظم الانتقالات الخليطة هذه عقيمًا – جزئيًا – واحتوت على صفات أخرى للنوع *Aegilops*؛ مما يدل على أن الجزء الكروموسومى المنقول فى كل منها كان كبيرًا نسبيًا؛ إلا أن أحد النباتات كان مقاومًا للصدأ، بينما كانت صفاته مقبولة كما كان كامل الخصوبة. وقد أظهرت الدراسات السيتولوجية التى أجريت على هذا النبات أن الانتقال الكروموسومى شمل جزءًا صغيرًا جدًا من كروموسوم النوع *Aegilops* لم يحمل سوى الجين المسئول عن المقاومة لمرض صدأ الأوراق (عن Brewbaker ١٩٦٤).

أطلق على الصنف الذى نتج من هذا البرنامج اسم Transfer، وقد استعمل – فيما بعد – فى برامج تربية أخرى عديدة نتج عنها عديدًا من أصناف القمح التجارية المقاومة لصدأ الساق.

ويبين شكل (١٤–١) تخطيطًا لبرنامج التربية الذى أسلفنا بيانه (عن Poehlman & Sleper ١٩٩٥).



شكل (١٤-١): تخطيط يبين الطريقة التى أمكن بواسطتها نقل صفة المقاومة لمرض صدأ الأوراق من الحشيشة البرية *Aegilops umbellulata* إلى قمح الخبز السداســـى *Triticum aestivum*.

ولقد طبقت تلك التقنية – بعد ذلك – فى نقل جينات المقاومة لصدأ الأوراق وصدأ الساق من الأنواع البرية إلى القمح المزروع.

التهجين بين جنس القمح *Triticum* والجنس *Agropyron*

نال التهجين بين جنس القمح *Triticum*، والجنس *Agropyron* اهتمام الكثيرين، وكان الهدف الأصلى هو إنتاج قمح معمر. وبرغم أنه أمكن تحقيق بعض التقدم نحو هذا الهدف .. إلا أن أهم ما تمخضت عنه هذه الدراسات كان انتخاب طرز شبيهة بالقمح، ذات مقاومة جيدة للصدأ والأمراض الأخرى التى يقاومها النوع *Agropyron*، ويعد عدم الثبات السيتولوجى الوراثى من أهم مشاكل النباتات المتضاعفة الشبيهة بالثنائية Amphidiploids لهذا الهجين النوعى.

نقل جين أو جينات مرغوب فيها من نوع لآخر

يعد نقل جين واحد مرغوب فيه أو عدد قليل من الجينات من نوع لآخر أحد أهم أهداف التربية بالتهجينات النوعية.

الهجن النوعية فى الجنس *Lycopersicon*

تتلقح الطماطم *Lycopersicon esculentum* بسهولة تامة مع النوع *L. pimpinellifolium*، وقد أمكن عن طريق هذا التلقيح نقل كثير من الصفات المهمة إلى الطماطم؛ مثل صفات المقاومة للفطريات *Fusariam oxysporum*، و *Stemphylium solani*، و *Cladosporum fulvum*، وغيرها.

كما تتلقح الطماطم بسهولة مع النوع *L. cheesmanii* الذى يتميز بقدرته على تحمل الملوحة العالية، والنوع *L. pennellii* الذى يتميز بقدرته على تحمل ظروف الجفاف.

كذلك .. أمكن تلقيح الطماطم مع النوع *L. hirsutum*، بشرط استعمال الطماطم كأم، وأمكن عن طريق هذا الهجين النوعى نقل عديد من الصفات المهمة؛ مثل المقاومة للفطر *Septoria lycopersici*.

أما النوعان *L. chilense*، و *L. peruvianum* .. فإنهما لا يهجنان مع الطماطم إلاّ إذا

استخدم الأخير كأم مع زراعة الأجنة الهجين فى بيئة صناعية، وهى فى المراحل المبكرة لتكوينها، وإلا تدهور الجنين، واختفى داخل الثمرة التى تكمل نموها وهى خالية من البذور.

نجد فى الهجين النوعى *L. esculentum* x *L. peruvianum* أن الإخصاب يحدث وتبدأ البذور فى التكوين، ولكنها تضمحل قبل اكتمال تميز الإندوسبرم فيها، ولا يظهر بالثمار الناضجة سوى بويضات مضمحلة، مثلما يكون عليه الحال فى الثمار البكرية التكوين. ونادرًا ما ينمو الجنين بالثمار فى ذلك التلقيح لمدة ٤٠ يومًا (عن Neal & Topoleski ١٩٨٣).

ولقد وجد أن الجنين فى هذا الهجين النوعى (*L. esculentum* × *L. peruvianum*) نادرًا ما يستمر فى نموه لأكثر من ٢٥ يومًا؛ ولذا .. فإن تلك الأجنة تنقل إلى بيئة خاصة لزراعتها وهى مازالت صغيرة بعمر ١٥–٢٥ يومًا، وهى بيئة موراشيج وسكوج تحتوى على ٢,٥ ميكرومول من إندول حامض الخليك. أعطت هذه البيئة نموًا من الكالوس فى حوالى ٢٠٪ من حالات الأجنة المزروعة، وهى التى تكونت فيها نموات النباتات الهجين (Segeren وآخرون ١٩٩٣).

كذلك أمكن التغلب على عدم التوافق فى الهجين العكسى (*L. peruvianum* x *L. esculentum*) بإجرائه فى الطور البرعمى مع معاملة مياسم *L. peruvianum* ببيئة صناعية مماثلة لإفرازات الميسم التى لا تنتج فى تلك المرحلة من تكوين الزهرة؛ وبذا .. أنبتت حبوب لقاح النوع *L. esculentum* فى هذا التهجين غير المتوافق أصلاً. وقد تطلب الأمر زراعة الأجنة المتكونة بعد ٢٢ يومًا من التلقيح (وهى فى مرحلة النمو الكروى globular إلى القلبى heart-shape) على بيئة صناعية. كذلك أمكن تلقيح سلالة من *L. peruvianum* متوافقة مع *L. esculentum* بحبوب لقاح من النوع الأخير والحصول على نباتات من هذا التهجين. وبتهجين *L. peruvianum* فى الطور البرعمى بحبوب لقاح من هذا الهجين .. أمكن الحصول على نباتات تهجين رجعى تحتوى على ٢٥٪ من جينات الطماطم فى سيتوبلازم *L. peruvianum* (Gradziel & Robinson ١٩٩١).

وقد أمكن عن طريق التلقيح مع *L. peruvianum* نقل عدد من الصفات الهامة إلى الطماطم؛ مثل المقاومة لنيماتودا تعقد الجذور، والمحتوى المرتفع من فيتامين جـ،

والمقاومة لفيرس التفاف واصفرار أوراق الطماطم التى توجد على مستوى عال فى بعض سلالات النوع *L. peruvianum*.

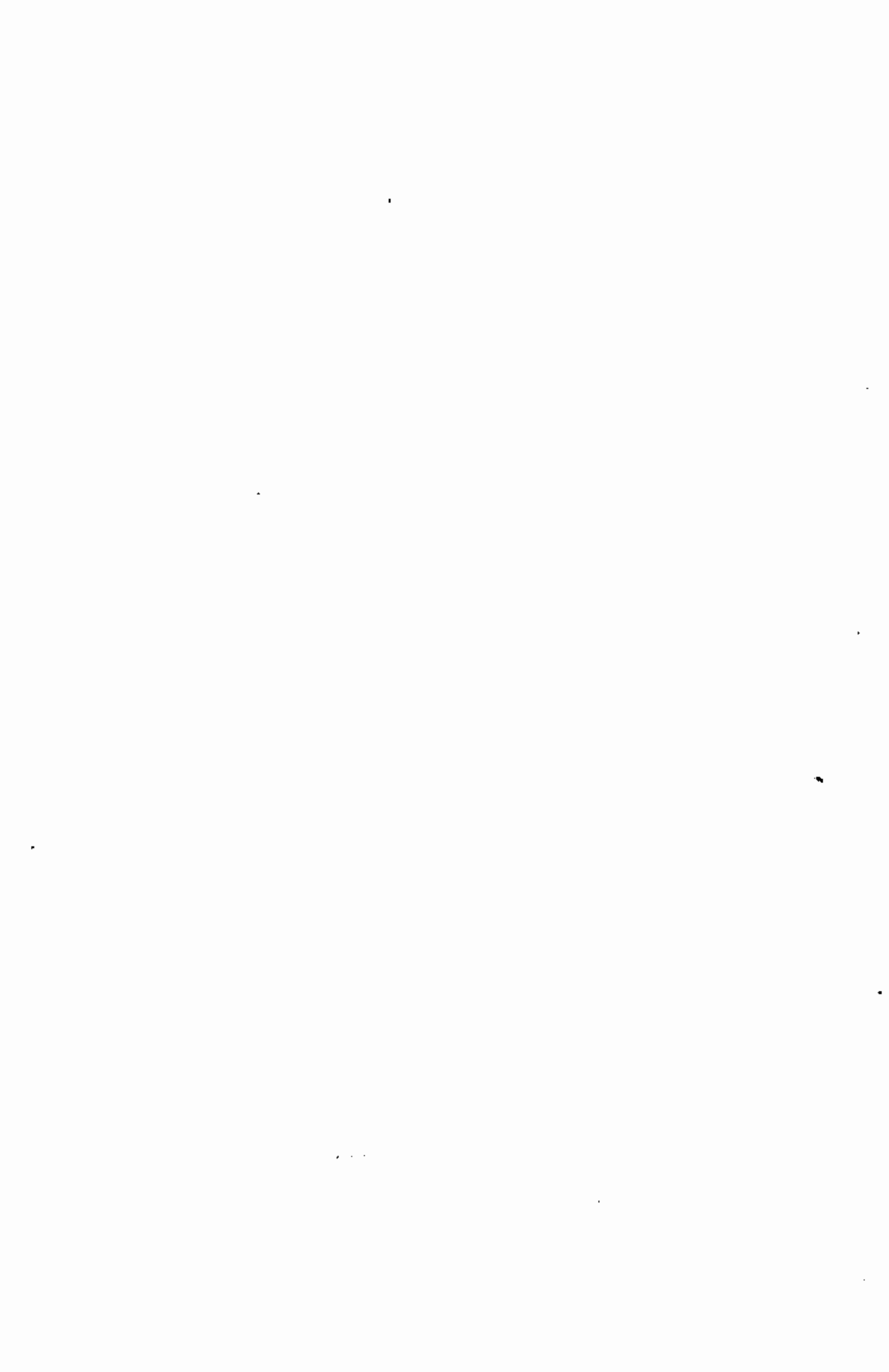
وقد نوه C. M. Rick فى عام ١٩٨٣ عن وجود سلالتين من *L. peruvianum* يلقّحان بسهولة تامة مع الطماطم، وهما LA 1708، و LA 2172. ووجد أن هاتين السلالتين لا تلقحان مع أية سلالة أخرى من نوعهما، كما لم يكن الهجين النوعى بينهما وبين الطماطم صالحاً كقنطرة للتهجين مع سلالات أخرى من النوع *L. peruvianum*؛ رغم أنه كان خصبًا جزئيًا ومتوافقاً فى الهجن الرجعية إلى الطماطم (Lindhout & Purimahua ١٩٨٨).

ولمزيد من التفاصيل عن الهجن النوعية فى النوع *Lycopersicon* وأوجه الاستفادة بها .. يراجع Rick (١٩٧٩، و ١٩٨٠).

الهجن النوعية فى الجنس *Lactuca*

أمكن فى الجنس *Lactuca* التهجين بين *L. sativa* كأم و *L. virosa* كأب بالاستعانة بتقنية زراعة الأجنة، كما أمكن التهجين بين *L. sativa* كأم وكلا من *L. tatarica*، و *L. perennis* كآباء بالاستعانة بتقنية دمج البروتوبلاست (Maisonneuve وآخرون ١٩٩٥).

ولمزيد من الأمثلة عن الهجن النوعية يراجع Knott & Dovrak (١٩٧٦) بشأن الاستفادة بها فى نقل صفات المقاومة للأمراض من الأنواع البرية إلى الأنواع المزروعة، مثل الطماطم، والبنجر، والبطاطس، والتبغ، وغيرها، ويراجع Uhlinger (١٩٨٢) بشأن الهجن البعيدة بين الأنواع العشبية المعمرة، و Layne (١٩٨٣) بشأن الهجن النوعية فى الفاكهة، والجمعية الأمريكية لعلوم البساتين (ASHS ١٩٨٦)، بشأن التغلب على مشاكل العقم فى الهجن النوعية للأجناس *Prunus*، و *Malus*، و *Pyrus*، و *Rubus*، و *Vaccinium*؛ ويراجع Dickson & Wallace (١٩٨٦) بشأن الهجن النوعية فى الجنس *Brassica*، و Whitaker & Robinson (١٩٨٦) بشأن الهجن النوعية فى الجنس *Cucurbita*.



الفصل الخامس عشر

طرق تربية النباتات الخضرية التكاثر

مقدمة

نحصر اهتمامنا فى هذا الفصل بطرق تربية النباتات التى تكثر تجاريًا بوسائل لاجنسية، سواء أكان ذلك خضريًا، أم لا إخصابيًا، وسواء أكانت تلك النباتات قادرة على التكاثر الجنسى بطبيعتها، أم غير قادرة على ذلك.

ولن يكون تناولنا لتلك الفئة من النباتات بمعزل عن طرق التربية الأخرى التى أتينا على شرحها فى الفصول الأخرى من هذا الكتاب إلا بقدر ما تتميز به النباتات الخضرية التكاثر من خُصوصية.

وأهم ما يميز تربية النباتات الخضرية التكاثر هو أنه بمجرد تعرُّف نبات ذى تركيب وراثى مرغوب فيه .. فإن هذا النبات يمكن إكثاره فى الحال، ليصبح صنفًا جديدًا، ويكون العثور على هذا النبات هو المحور الرئيسى لبرنامج التربية.

ومن بين أهم خصائص النباتات الخضرية التكاثر - ذات العلاقة بتربيتها - ما يلى:

١ - معظمها معمرة، ومعظم الحولية منها درنية أو جذرية، مثل البطاطس، والبطاطا، والكاسافا.

٢ - يقل فى معظمها الإزهار وعقد البذور بدرجة كبيرة، وقد لا تزهر مطلقًا، ولا يشذ عن تلك القاعدة إلاّ ما تزرع منها لأجل ثمارها.

٣ - معظمها خلطية التلقيح.

٤ - تكون على درجة عالية من الخلط الوراثى وتُظهر تدهورًا شديدًا فى قوة النمو مع التربية الداخلية.

٥ - معظمها متضاعفة العدد الكروموسومى، مثل: قصب السكر، والبطاطس، والبطاطا، والفراولة.

٦ – الكثير منها عبارة عن هجن نوعية، مثل: الموز، وقصب السكر، والفراولة.

٧ – تتكون تلـك المحـاصيل مـن عـدد كبـير مـن السـلالات الخضـريـة (عـن Singh ١٩٩٣).

هذا .. ويمكن العثور على التراكيب الوراثية المرغوب فيها بـأحد ثلاث طرق، كما يلى:

١ – الانتخاب فى العشائر المتوفرة المكثرة خضريًّا.

٢ – المعاملة بالعوامل المطفرة.

٣ – اللجوء إلى التكاثر الجنسى إن كان ذلك ممكنًا.

وأيًا كانت طريقة التربية المتبعة .. فإن التقييم إمـا أن يكـون علـى أسـاس النباتـات الفردية فى حالة الانتخاب للصفات النوعية ذات درجـات التوريـث المرتفعـة، وإمـا أن يكون على أسـاس السـلالات الخضريـة دون مكـررات فـى حالـة الصفـات الكميـة ذات درجـات التوريـث المتوسـطة، وإمـا بمكـررات بالنسـبة للصفـات الكميـة ذات درجـات التوريث المنخفضة.

الانتخاب فى العشائر المتوفرة المكثرة خضريًّا

من المعروف أنه لا جدوى من الانتخاب فى السـلالة الخضريـة؛ لأن نباتاتـها تكـون متجانسة تمامًا، وإذا ظهرت أية اختلافات بينهـا .. فإنها تكون غالبًا بيئية. أما العشائر التى يجدى فيها الانتخاب .. فهى التى يحتمل أن تكـون قـد تراكمـت فيـها الطفـرات خلال فترة طويلة من الزمـن؛ مثـل الأصنـاف البلديـة، والأصنـاف المحسـنة القـديمة. ويفضل فى هذه الحالـة الانتخاب للصفات التى يكون مـن السـهل تعرُّفـها؛ مثـل كـل الصفات النوعية، ويعرف الانتخاب حينئـذ باسـم انتخـاب السـلالة الخضريـة Clonal Selection. ويعاب على هذه الطريقة فـى التربيـة أنـها تعتمـد كليـة علـى الاختلافـات الوراثية التى توجـد بصـورة طبيعيـة؛ فـلا تعطـى بذلـك الفرصـة لإحـداث تقـدم سـريع وجوهرى فى صفات المحصول.

المعاملة بالعوامل المطفرة

سـبقت الإشـارة فى الفصـل العاشـر إلى أهميـة وطريقـة تربيـة النباتـات الخضريـة

التكاثر بالطفرات. ويفيد هنا إعادة التأكيد أن تربية النباتات الخضرية التكاثر بالطفرات، تعادل فى تأثيرها النهائى التربية بالتهجين الرجعى فى النباتات الجنسية التكاثر.

اللجوء إلى التكاثر الجنسى

أهمية اللجوء إلى التكاثر الجنسى

ترجع أهمية اللجوء إلى التكاثر الجنسى (إن كان ذلك ممكنًا) إلى الحقائق التالية:

١ – يُعَد التكاثر الجنسى الوسيلة الوحيدة لجمع صفات من سلالات، أو أصناف مختلفة فى صنف جديد.

٢ – يعطى التهجين بين الأصناف الفرصة لظهور انعزالات جديد كثيرة للغاية (يبلغ عددها ٣ن حيث ن هى عدد العوامل الوراثية، التى يختلف فيها الصنفان الملقحان).

٣ – تتميز النباتات الخضرية التكاثر بأنها تكون على درجة كبيرة من عدم التماثل الوراثى؛ لذا .. فإن .. مجرد تلقيحها – ذاتيًا – ينشأ عنه انعزالات وراثية كثيرة.

ويستفاد مما تقدم بيانه –عند تحسين المحاصيل الخضرية التكاثر – أن يراعى ما يلى:

١ – الاستفادة من الانعزالات التى تحدث عند التلقيح الذاتى، وقد انتخبت بهذه الطريقة معظم الأصناف القديمة من الفاكهة.

٢ – الاستفادة من الانعزالات التى تحدث عند التلقيح الخلطى الطبيعى بين نباتات الصنف الواحد أو الأصناف المختلفة، وقد أنتجت بهذه الطريقة أصناف كثيرة من نخيل البلح. وتتميز النباتات المنتخبة بهذه الطريقة بأنها لا تتعرض لاحتمالات التدهور مع التربية الداخلية الذى قد يحدث فى حالة التلقيح الذاتى.

٣ – الاستفادة من الانعزالات التى تحدث عند إجراء تلقيحات متحكم فيها بين أصناف مختارة تحمل الصفات المرغوب فيها، وتلك هى الطريقة المفضلة، التى تتبع – حاليًا – فى معظم برامج التربية.

٤ – الاستفادة من ظاهرة قوة الهجين التى تظهر عند تهجين السلالات المرباة تربية داخلية بشكل جزئى؛ حيث تمارس التربية الداخلية لأجيال قليلة مع انتخاب النباتات

المتميزة بعد كل جيل، ثم تلقح السلالات المنتخبة معًا، وتقيم الهجن الناتجة، وتنتخب أفضل النباتات الهجين لإكثارها كأصناف جديدة.

هذا .. ولا يمكن - دائمًا - اللجوء إلى التكاثر الجنسي؛ نظرًا لأن بعض الأنواع النباتية الخضرية التكاثر لا تنتج بذورًا بالمرة، أو قد تنتج بذورًا بها أجنة لاإخصابية فقط (أى تكون إجبارية التكاثر اللاإخصابي).

وتجدر الإشارة إلى استحالة تطبيق طريقة التربية بالتهجين الرجعي على النباتات التي تكثر - تجاريًا - بطريقة خضرية، ولكن يمكن أن يتبع معها طريقة محورة للتهجين الرجعي.

التهجين والانتخاب

الهدف

إن الهدف الرئيسي لأى برنامج للتربية بالتهجين والانتخاب في المحاصيل الخضرية التكاثر هو تجميع صفات مرغوب فيها من سلالات خضرية مختلفة، تنتخب على أساس الخبرة السابقة معها، سواء فيما يتعلق بأدائها، أم بنتائج استخدامها في تهجينات سابقة. وفي الغالب .. تُنتج الآباء (السلالات الخضرية) ذات القدرة العالية على التآلف هجنًا متفوقة، إلاّ أن الهدف في النباتات الخضرية التكاثر لا يكون إنتاج هجنًا متجانسة مثلما يكون عليه الحال في النباتات التي تتكاثر جنسيًا؛ وإنما يكون الهدف تقييم نباتات الجيل الأول - كل على حدة - لانتخاب أفضلها. ويجرى الانتخاب في تلك المرحلة على أساس الصفات المورفولوجية الواضحة، علمًا بأن كفاءة عملية الانتخاب تزداد بزيادة درجة توريث الصفات المرغوب فيها. ويتعين التحكم - قدر المستطاع - في العوامل البيئية؛ بهدف التقليل من تأثير البيئة، وتأثير التفاعل بين البيئة والتركيب الوراثي.

حجم عشيرة التربية

نظرًا لأن غالبية أصناف المحاصيل الخضرية التكاثر تكون خليطة وراثيًا، فإن الجيل الأول - وليس الجيل الثاني - يكون هو الجيل الانعزالي الأول. ولذا .. فإن حجم

عشيرة الجيل الأول يجب أن يكون أكبر كثيرًا عما يكون مطلوبًا فى عشائر النباتات الجنسية التكاثر.

كذلك فإن نسبة كبيرة من النباتات الخضرية التكاثر تكون متضاعفة (مثل قصب السكر، والبطاطس، والبطاطا، والفراولة، والموز) وتحتاج إلى عشائر كبيرة الحجم للحصول على الانعزالات المرغوب فيها.

ونظرًا لأن عديدًا من أصناف بعض المحاصيل الخضرية التكاثر لا تزهر، وحتى إذا ما أزهرت فإنها تكون على درجة عالية من العقم (وخاصة العقم الذكرى) .. فإن الأمر يتطلب إنتاج عددًا أكبر من الهجن عما يكون مطلوبًا فى المحاصيل الجنسية التكاثر (عن Chopra ٢٠٠٠).

أهمية التربية الداخلية

قد يحدث فى برامج التربية بالتهجين والانتخاب فى النباتات الخضرية التكاثر أن تحمل السلالات الجيدة المنتخبة صفات قليلة غير مرغوب فيها يتحكم فيها إما جينات سائدة بحالة خليطة، وإما جينات متنحية بحالة أصيلة. ويتم التعامل مع تلك الحالات بالتربية الداخلية التى تسمح بالحصول على انعزالات متنحية أصيلة فى الجينات السائدة غير المرغوب فيها، والتى تسمح كذلك بتهجين السلالات المنتخبة – معًا – للحصول على انعزالات سائدة خليطة فى الجينات المتنحية غير المرغوب فيها. وتجدر الإشارة إلى أن التربية الداخلية – ولو لجيل واحد – قد تؤدى إلى حدوث فقد فى قوة النمو، إلاّ أن تهجين السلالات المنتخبة معًا يؤدى إلى استعادة قوة الهجين. ولا يجدى – فى هذا الشأن – تهجين نباتات مختلفة من سلالة خضرية واحدة؛ لأن ذلك يعد مزيدًا من التربية الداخلية نظرًا لتماثل جميع نباتات السلالة الخضرية الواحدة فى تركيبها الوراثى.

خطوات برنامج التربية

يجرى برنامج التربية بالتهجين فى المحاصيل الخضرية التكاثر، كما يلى (شكل ١٥-١):

● السنة الأولى:

تلقح النباتات المنتخبة معًا لأجل إنتاج بذور الجيل الأول، مع مراعاة إجراء الخطوة في مواقع وظروف تسمح بالإزهار.

● السنة الثانية:

تزرع بذور الجيل الأول لإنتاج البادرات في مكان يسمح بنموها بصورة متجانسة. تستبعد جميع النباتات الضعيفة وغير الطبيعية، وكذلك تلك التى تظهر قابلية للإصابة بالأمراض. وينتخب عدد كبير من النباتات التى تظهر بها الصفات المرغوب فيها. ويجب أن يكون الانتخاب فى هذه المرحلة متوسط الشدة لأن الأداء المعتمد على النباتات المفردة لا يكون ذا فاعلية كبيرة فى تحديد أهمية التركيب الوراثى، ومع إكثار النباتات المتبقية خضريًا نحصل من كل منها على سلالة خضرية متجانسة يمكن تقييمها بطريقة أكثر دقة.

● السنة الثالثة:

يُنتج من كل نبات تم انتخابه سلالة خضرية بطريق الإكثار الخضرى، تزرع نباتاتها على مسافات موحدة فى خط مفرد، مع زراعة بعض الخطوط من أصناف أخرى قياسية للمقارنة. تستبعد جميع السلالات التى تظهر عليها عيوب واضحة، وتلك التى يكون أداؤها سيئًا، وينتخب فقط حوالى ١٠٠-٢٠٠ سلالة خضرية لأجل تجارب التقييم الأولى للمحصول.

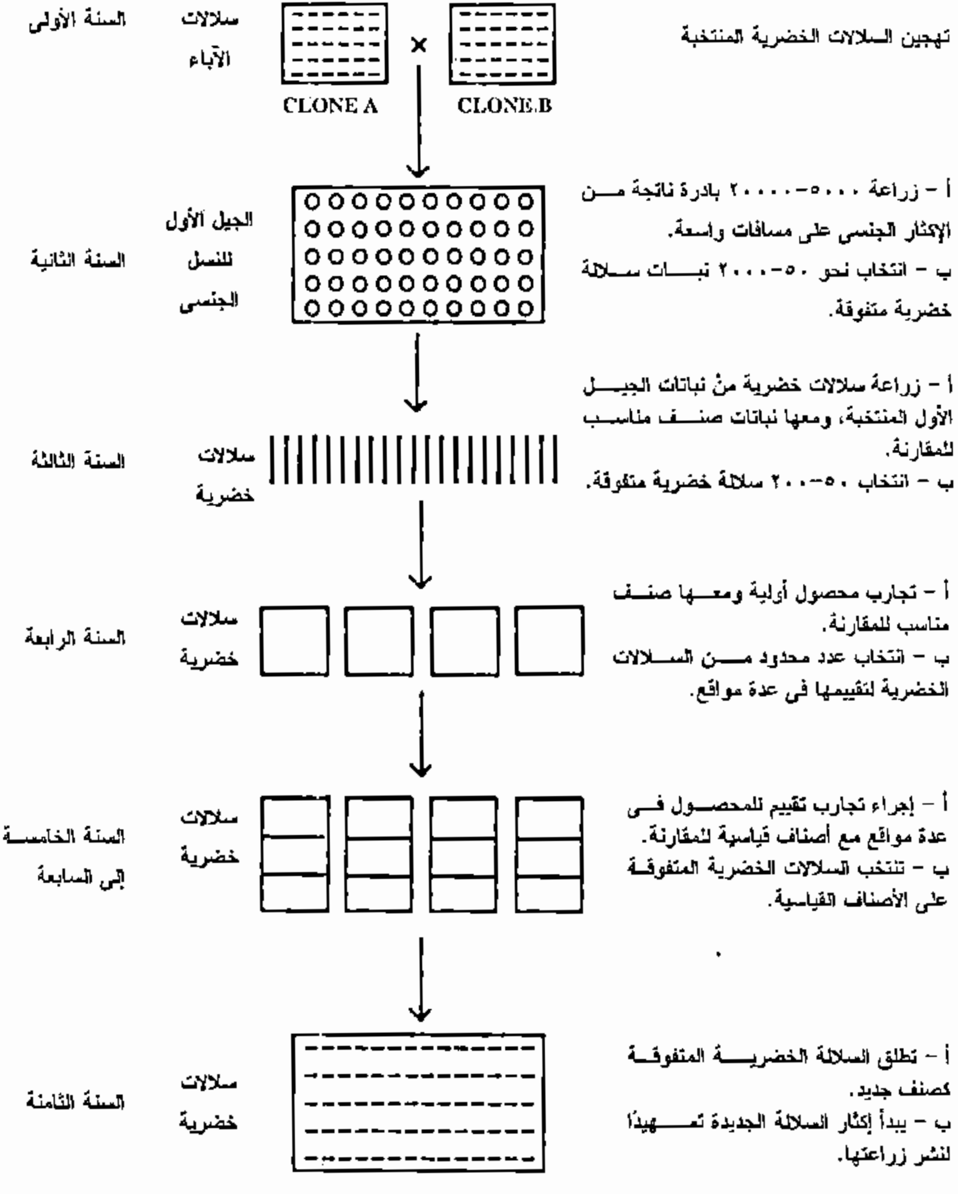
● السنة الرابعة:

يتم إكثار كل سلالة منتخبة خضريًا بالقدر الذى يسمح بتقييمها فى تجربة بمكررات فى موقع واحد، مع مقارنتها بصنف قياسى. ويمكن إخضاع جزء من نسل كل سلالة لاختبارات أخرى - مثل المقاومة للأمراض والحشرات - حسب الحاجة، ومدى توفر النباتات اللازمة لإجراء تلك الاختبارات. وينتهى ذلك التقييم بانتخاب عدد قليل من السلالات لمزيد من التقييم.

● السنوات الخامسة إلى السابعة:

تُقيم السلالات الخضرية المنتخبة فى تجارب بمكررات فى عدة مواقع، مع تقييمها

تقييمًا جائرًا فيما يتعلق بصفات الجودة، والمقاومة للأمراض والحشرات، ومع تقليل عدد السلالات المنتخبة سنة بعد أخرى خلال عملية التقييم إلى أن ينتهي الأمر بانتخاب أفضلها للإكثار، ونشر زراعتها كصنف جديد (Chahal & Gosal ٢٠٠٢).



شكل (١٥–١): تخطيط لبرنامج تربية لنبات حولي – خضرى التكاثر – بالتهجين والانتخاب.

طريقة التهجين الرجعى المحورة

يفيد اتباع طريقة التهجين الرجعى فى نقل صفة مرغوب فيها – مثل المقاومة لمرض ما – من أى خلفية وراثية إلى صنف تجارى ناجح، إلاّ أن عملية التهجين الرجعى تؤدى إلى تغير حتمى فى التركيب الوراثى للصنف المراد تحسينه، فلا يتشابه النسل الناتج من كل تلقيح رجعى لامع النسل الناتج من التلقيح الرجعى السابق له. ولامع الصنف الأصلى؛ بسبب الانعزالات الوراثية الكثيرة للغاية التى تظهر عند اللجوء إلى التكاثر الجنسى، فضلاً عما يترتب على تكرار التهجين الرجعى من تربية داخلية واتجاه نحو الأصالة الوراثية تؤثر سلبيًا على قوة النمو النباتى. ولذا .. فإنه يتبع مع النباتات الخضرية التكاثر ما تعرف بطريقة التهجين الرجعى المحورة modified backcross method.

وبمقتضى هذه الطريقة .. فإن نباتات الجيل الأول للتهجين بين الأب المعطى والأب المتلقى تلقح مع سلالة أخرى خضرية ذات صفات مرغوب فيها، أو مع صنف تجارى آخر مرغوب فيه بدلاً من الأب المتلقى الأصلى. ومع كل تلقيح رجعى إضافى .. تستعمل سلالة خضرية جديدة ذات صفات مرغوب فيها لتلقيحها مع النباتات المنتخبة التى تحتوى على الصفة المنقولة والصفات الأخرى الجيدة التى حُصل عليها من السلالات الخضرية الأخرى التى سبق استعمالها فى التلقيحات الرجعية.

ومن الأهمية بمكان استمرار الانتخاب فى النسل بعد كل تلقيح رجعى؛ لأجل التخلص من الصفات غير المرغوب فيها، والحصول على الصفة المطلوبة فى خلفية وراثية جديدة تمامًا. يفترض أن تجتمع فيها أفضل ما فى الأصناف التجارية – التى استخدمت فى التهجينات الرجعية – من صفات (عن Fehr ١٩٨٧، و Chahal & Gosal ٢٠٠٢).

الاستفادة من ظاهرة التكاثر اللاإخصابى

يعد التكاثر اللاإخصابى أحد طرق التكاثر البذرى اللاجنسى (حسن ٢٠٠٥).

الحالات التى يتوقع فيها حدوث التكاثر اللاإخصابى

يتوقع حدوث التكاثر اللاإخصابى فى الحالات التالية:

١ – عندما يكون نسل النبات الواحد – وخاصة النبات الهجين – شديد التجانس وعلى درجة شديدة من التشابه مع النبات الأم.

٢ – محدودية أو قلة التباين الوراثى فى نسل الجيل الثانى.

٣ – وجود تراكيب وراثية متنحية فى نسل التلقيح بين نبات لاإخصابى التكاثر متنح وآخر سائد أصيل يستعمل كملقح.

٤ – ظهور عدة بادرات عند زراعة البذرة الواحدة.

٥ – وجود بعض التباين فى أعداد الكروموسومات بين النباتات؛ حيث لا تؤثر حالات التعدد الكروموسومى aneuploidy على عقد البذور فى التكاثر اللاإخصابى.

٦ – وجود أكثر من كيس جنينى واحد فى المبيض.

انتخاب الطرز البيئية

تنتشر ظاهرة التكاثر اللاإخصابى فى كثير من النباتات، من بينها أكثر من ١٠٠ نوع من النجيليات المعمرة، وفيها تنتج الأصناف المحسنة بطريقة تعرف باسم انتخاب الطرز البيئية ecotype selection، وذلك من خلال التهجين والانتخاب.

يعتمد الـ ecotype selection على أن عشائر تلك الأنواع تعد غنية بالتباينات الوراثية، حيث تتباين أفرادها فى التركيب الوراثى، كما أنها تكون على درجة عالية من الخلط الوراثى highyl heterozygous؛ ونظرًا لأن الجزء الأكبر من تلك التباينات الوراثية يكون إضافيًّا.. فإن الانتخاب فيها على أساس الشكل الظاهرى يمكن أن يكون مجديًا. ويتم الانتخاب إما بطريقة سلبية (باستبعاد الطرز غير المرغوب فيها قبل إزهارها)، وإما بطريقة إيجابية (بانتخاب النباتات المرغوب فيها لأجل اختبار أنسالها أو لأجل تلقيحها مع نباتات أخرى مماثلة لها).

إكثار الهجن بذرياً

تعرف نباتات الجيل الأول الهجين والأجيال التالية للتهجين بين سلالتين خلطيتين فى صفة التكاثر اللاإخصابى الاختيارى باسم vybrids. وقد أنتجت تلك الهجن فى محصول الدخن الذى يعد pseudogamous، ولكنه يتطلب حدوث التلقيح لأجل إنتاج أجنة وإندوسبرم (عن Chahal & Gosal ٢٠٠٢).

ويمكن للمزارعين إكثار بذور الجيل الأول الهجين للمحاصيل اللاإخصابية التكاثر بأنفسهم مع استمرار كونها هجنًا واحتفاظها بكافة صفاتها جيلاً بعد جيل.

وبذا .. فإن خاصية التكاثر اللاإخصابي يمكن أن تقدم للمنتجين فرصة ثمينة لاستمرار زراعة الهجن الجيدة، مع إكثارها بأنفسهم، دونما حاجة إلى إعادة اقتناء بذور جديدة منها سنويًا، ولكن من الواضح أن مثل هذا الاتجاه لن يلقى ترحيبًا من شركات البذور المنتجة للهجن.

مشاكل تربية النباتات الخضرية التكاثر

توجد مشاكل عامة تتعلق بتربية النباتات الخضرية التكاثر بوجه عام، منها ما يلي:

١ – لا تنتج بعضها بذورًا؛ مثل الموز، والقلقاس، والثوم.

٢ – تكثر بها مشاكل العقم وعدم التوافق.

٣ – توجد في بعضها ظاهرة تعدد الأجنة، كما في أنواع الموالح المختلفة (ما عدا الشادوك والكازمارو)، وبعض أصناف المانجو؛ مثل: هندى بسنارة، وتيمور، وقلب الثور، ولونج، ومسك، ومستكاوى. وتعد هذه الظاهرة عائقًا أمام المربى الذى يتعين عليه زراعة ورعاية عدة نباتات من كل تلقيح إلى أن يتمكن من معرفة النبات الناتج من الجنين الجنسى.

٤ – تكثر بها الإصابات الفيروسية التي تنتقل بالتكاثر الخضرى.

٥ – تكون معظم الأصناف خليطة وراثيًا.

كما توجد مشاكل خاصة بالمحاصيل الخشبية المعمرة الخضرية التكاثر كالفاكهة؛ منها ما يلي:

١ – احتياجها إلى عدة سنوات حتى تزهر وتثمر.

٢ – احتياجها إلى مساحات كبيرة لإجراء التقييم اللازم على النباتات المنعزلة.

٣ – صعوبة التنبؤ باحتياجات المستهلك فترة طويلة مقدمًا، وهي الفترة التي يستغرقها برنامج التربية.

٤ – استحالة تغيير الصنف بسرعة.

٥ – تكثر بها مشاكل عدم توافق الأصل مع الطعم.

طرق التغلب على مشاكل تربية الأشجار المعمرة

فترة الحداثة الطويلة

تعد فترة الحداثة الطويلة التى تبقى فيها أشجار الفاكهة المعمرة غير مثمرة من أكبر مشاكل تربية الفاكهة. وقد أمكن التغلب على هذه المشكلة - جزئيًّا - باتباع ما يلى:

١ - تطعيم البادرات الناتجة من الهجن على أشجار معمرة:

يمكن عند اتباع هذه الطريقة تطعيم براعم، أو أفرع خضرية من البادرات الصغيرة على أشجار بعمر ٥-٦ سنوات ليسهل إجراء التطعيم عليها، وليسهل إجراء التقييم للثمار بعد ذلك، حينما تكون الأشجار لا تزال صغيرة. ويمكن الحصول على عقل للتطعيم - عادة - فى نهاية موسم النمو الأول. ويفضل - دائمًا - تطعيم النباتات الناتجة من تهجين واحد - مجتمعة - على شجرة واحدة. وتثمر هذا الطعوم - عادة - بعد ٣-٤ سنوات؛ وبذا .. يمكن تقييمها فى خلال خمس سنوات من إجراء التهجين، مقارنة بنحو ٨-١٠ سنوات عند تربية النباتات إلى مرحلة الإثمار. ويعاب على هذه الطريقة أنها لا تسمح بتقييم الأشجار من حيث قوة النمو، والشكل العام (Magness ١٩٣٧)، كما أن الأصول يمكن أن تؤثر على جميع خصائص الطعوم وصفاتها.

٢ - تشجيع النمو القوى فى السنوات الأولى بعد الزراعة بزيادة مسافة الزراعة.

٣ - تقليم الجذور.

٤ - تحليق جذوع الأشجار التى بلغت من العمر أربع سنوات.

٥ - التطعيم على أصول مقزمة، مثل أصل التفاح East Malling (Way ١٩٧١).

٦ - الاستفادة من الارتباط بين صفات الثمار، وصفات النمو الخضرى:

ففى التفاح - مثلاً - وجد ارتباط عالٍ بين pH أوراق الأشجار وهى فى عمر سنتين، وبين pH الثمار عندما أثمرت تلك الأشجار وهى فى عمر ٦-٧ سنوات، وأمكن اتخاذ تلك العلاقة كأساس للانتخاب لصفة pH الثمار؛ فوجد أن استبعاد البادرات ذات الـ pH الأعلى من المتوسط (٤٠٪ من مجموع البادرات) أدى إلى استبعاد ٧٤٪ من النباتات التى أنتجت ثمارًا قليلة الحموضة بدرجة غير مرغوب فيها ($pH \geq$ ٣,٨). إلا أن هذه الطريقة لم تكن فعّالة فى خفض نسبة الأشجار التى تحمل ثمارًا حامضية بدرجة غير مقبولة ($pH \leq$ ٢,٩) (Visser & Verhaegh ١٩٧٨).

ظاهرة تعدد الأجنة

أمكن لسنوات عديدة التغلب على مشكلة صعوبة تمييز بادرة الجنين الجنسي عن بادرات الأجنة اللاإخصابية في الحمضيات، بالاستفادة من سيادة صفة الورقة الثلاثية التي توجد في النوع *Poncirus trifoliata* عند تلقيحه مع أنواع الجنس *Citrus*، حيث تكون البادرات الناتجة من الجنين الجنسي لهذا التلقيح النوعي ثلاثية الأوراق .. إلا أن هذه الصفة لا توجد إلا في الجنس *Poncirus*، وعليه .. فإنها لا تفيد عند تلقيح أنواع الجنس *Citrus* مع بعضها (عن Esen وآخرين ١٩٧٥).

استخدامات منظمات النمو

تستخدم منظمات النمو في التغلب على بعض مشاكل تربية الأشجار المعمرة مثل الفاكهة، كما يلي:

١ – تقصير فترة الانتقال Transition Phase:

تمر الأشجار المعمرة – مثل الفاكهة – بفترة حداثة Juvenile Phase تتراوح من ٤–١٢ سنة قبل أن تبدأ في الإزهار، ولا يمكن دفع النباتات خلالها للإزهار بأية وسيلة. ولا تتفق – أحيانًا – نهاية فترة الحداثة مع بداية الإزهار. ويطلق على المدة التي تمر بين المرحلتين اسم فترة الانتقال، وهي مرحلة تتأثر خلالها النباتات – بسهولة – بالمعاملة بمنظمات النمو، ويمكن تقصيرها بمعاملة النباتات بالـ SADH، و TIBA، و CEPA، وغيرها.

٢ – التغلب على سكون البذور:

يحل حامض الجبريلليك محل معاملة الكمر البارد Stratification في معظم الفواكه التي تتطلب بذورها تلك المعاملة، كما استعملت الثيوريا كذلك. ووجد أن تعريض البذور لفترة قصيرة من الكمر البارد بعد المعاملة بأي من منظمي النمو يزيد من كفاءة منظم النمو في التخلص من سكون البذور.

٣ – إحداث العقم الذكري:

أمكن إحداث العقم الذكري في بعض الفاكهة – مثل العنب – بالمعاملة ببعض منظمات النمو؛ مثل الماليك هيدرازيد، والتراي أيودوبنزوك أسد TIBA، والـ FW 50.

٤ – المساعدة على إجراء التلقيحات البعيدة:

أمكن – مثلاً – إجراء تهجينات ناجحة بين الكمثرى، والتفاح بمعاملة مبايض الأزهار الملقحة بمنظم النمو بيتا نفثوكسى حامض الخليك β-NAA قبل التلقيح مباشرة، وبعد التلقيح بـ ٢٤ ساعة.

٥ – كسر سكون البراعم:

يستخدم لكسر البراعم حامض الجبريلليك، والثيوريا، وعديدًا من كاسرات السكون الأخرى.

٦ – منع تساقط الثمار:

يُعد تساقط بعض الثمار أمرًا طبيعيًا فى كثير من الفاكهة؛ مثل الموالح والمانجو. وإذا سقطت الثمار الناتجة من التلقيحات .. تأخر برنامج التربية، وضاعت جهود المربى. وقد وجد أن تساقط الثمار تقل معدلاته كثيرًا بالرش بمنظم النمو ٢،٤–د 2,4-D بتركيز ٢٥ جزءًا فى المليون.



الفصل السادس عشر

الأصناف المتعددة السلالات ومخاليط الأصناف

الأصناف المتعددة السلالات

تنتج الأصناف المتعددة السلالات multiline varieties – خاصة – عندما تكثر السلالات الفسيولوجية لأحد المسببات المرضية، حيث يتم إنتاج عدة سلالات من صنف واحد، ولكنها تختلف فى كونها تحمل جينات مقاومة مختلفة للمسبب المرضى المعنى. وبغير هذه الطريقة فإن كثيرًا من الأصناف المقاومة للأمراض – التى تكثر فيها السلالات الفسيولوجية – لا تصمد أمام مسبب المرض أكثر من خمس إلى عشر سنوات. وفى المقابل .. فإن توفر عدة سلالات من الصنف تحمل كل منها جينًا مختلفًا لمقاومة المسبب المرضى تعد بمثابة حائل وراثى قوى أمام تكاثر وانتشار السلالات الفسيولوجية الجديدة – التى قد تظهر – من المسبب المرضى.

هذا .. وتعرف سلالات الأصناف التى تتماثل تمامًا فى صفاتها، ولكنها تكون مختلفة فى جين واحد بأنها سلالات ذات أصول وراثية متشابهة isogenic lines.

يجب أن تكون السلالات النقية التى يتركب منها الصنف المتعدد السلالات متوافقة معا؛ فلا تقلل من القدرة الإنتاجية لبعضها البعض عندما تنمو معًا.

ويخلط – عادة – نحو ٥–١٠ سلالات معًا لتشكل صنفًا متعدد السلالات. وتتحدد السلالات التى يتم اختيارها بناء على أنواع السلالات الشائعة من المسبب المرضى الذى يُراد مكافحته فى منطقة الزراعة خلال فترة الزراعة، بحيث تستبدل سلالات بأخرى حسب تغير سلالات الكائن الممرض، كما تنتج سلالات جديدة يمكن إضافتها إلى الصنف كلما اكتشفت جينات جديدة للمقاومة.

ويعاب على الصنف المتعدد السلالات، ما يلى:

١ – لا يتميز بأى مميزات خاصة بالمحصول، أو صفات الجودة، أو صفات التأقلم عن الصنف الأصلى.

٢ – يحتاج إلى جهد كبير فى إنتاج سلالاته بطريقة التهجين الرجعى.

٣ – يتأخر إدخاله فى الزراعة إلى حين إنتاج جميع سلالاته.

مخاليط الأصناف

تعريف مخاليط الأصناف وأهميتها

تعرف مخاليط بذور التراكيب الوراثية المختلفة باسم عديدة السلالات multilines، أو المخاليط blends. وعلى الرغم من أن هذين المصطلحين يستعملان أحيانًا دونما تمييز، فإنه يفضل قصر استعمال مصطلح multilines على مخاليط السلالات ذات الأصول الوراثية المتشابهة isolines – التى أسلفنا بيانها – ومصطلح blends على مخاليط الأصناف أو السلالات التى تختلف فى عديد من الصفات.

يتكون مخلوط الأصناف variety blend بخلط بذور صنفين أو أكثر معًا، ويعتمد ذلك على حقيقة أن مخلوطًا من التراكيب الوراثية يكون ثابتًا فى محصوله عن التركيب الوراثى الواحد، بسبب زيادة تحمله للتفاعلات بين البيئة والتركيب الوراثى.

ويستفاد من مخاليط الأصناف والسلالات – أساسًا – فى مقاومة السلالات المختلفة للأمراض والآفات، وفى زيادة قدرة تلك المخاليط على تحمل التقلبات فى الظروف البيئية.

وتستعمل المخاليط mixtures تجاريًا فى المحاصيل الذاتية التلقيح، مثل: الشوفان، وفول الصويا، والقمح، والفول السودانى كبديل لأصناف السلالات النقية، والهجن. وفى أعشاب المروج turfgrasses تستخدم مخاليط من نوع واحد ومن أنواع مختلفة على نطاق واسع. وعلى الرغم من أن مخاليط الهجن ممكنة نظريًا إلا أنها لم تطبق عمليًا.

ومن الطبيعى أن مخلوط الأصناف يكون أقل تجانسًا فى مظهره عن السلالات النقية أو الصنف الواحد. ولذا .. يجب عند عمل مخاليط الأصناف اختيار تلك التى تتقارب معًا فى صفاتها المظهرية وصفات الجودة.

هذا .. وتلزم إعادة تكوين مخاليط الأصناف كل عدة سنوات لضمان ثبات سلوكها؛ نظرًا لأنها قد تتعرض للانتخاب الطبيعى أثناء إكثارها وهى مخلوطة (عن Fehr ١٩٨٧، و Poelham & Sleper ١٩٩٥).

عدد مكونات المخلوط

يتراوح عدد مكونات مخاليط الأصناف من ٢-١٠ أو أكثر، ويعتمد العدد على الهدف من تكوين المخلوط، ومدى التباين بين تلك المكونات وقدرتها الإنتاجية. وغالبًا ما تستعمل مخاليط تتكون من مكونين أو ثلاثة لتوفير منتج متميز للتسويق، أو لتقليل الأضرار التي يمكن أن تترتب على حدوث نقص في إمدادات بذور أحد الأصناف المتميزة. ويستعمل في تكوين المخلوط عددًا أكبر من السلالات حينما يكون الهدف توفير عدم التجانس اللازم لمقاومة الأمراض والآفات.

ولا يمكن أن يزيد عدد السلالات في مخلوط يستعمل لأجل مقاومة الأمراض عن عدد التراكيب الوراثية المتوفرة المسئولة عن المقاومة، وهو الذي يتساوى مع عدد الآباء التي تتوفر بها جينات المقاومة لمختلف سلالات المسبب المرضي، والتي يُعتمد عليها في تكوين السلالات ذات الأصول الوراثية المتماثلة (الـ isolines). كما قد تعتمد التباينات في مخاليط الأصناف على مدى توفر المصادر التي تستعمل في إنتاج مصادر عديدة للمقاومة في سلالات ذات قدرة إنتاجية عالية.

وتعد القدرة الإنتاجية للسلالات المتاحة للاستعمال في مخاليط الأصناف عاملاً هامًا في تحديد عدد المكونات التي يمكن استعمالها؛ وذلك لأن محصول المخاليط يكون قريبًا من المتوسط المحسوب على أساس مجموع محصول كل سلالة (عندما تكون زراعتها منفردة) مضروبًا في نسبتها في المخلوط. ويجب أن تكون القدرة الإنتاجية للسلالات المستعملة عالية سواء أكان ذلك في وجود المسبب المرضي، أم في غيابه. ويجب أن تكون نسبة كل سلالة في المخلوط عالية بالقدر الذي يمكن معه توفير الحماية ضد المخاطر المرضية المتوقعة.

المحصول المتوقع للمخلوط

تظهر أحيانًا انحرافات في المحصول المشاهد للمخلوط عن المتوسط المتوقع حسابيًا، وذلك بسبب التنافس بين المكونات intergenotypic competition.

ويتأثر المحصول النهائي المشاهد للمخلوط بمدى التنافس بين السلالات المكونة له، والتي يترتب عليه أربعة أنواع من "التعويض" compensation، كما يلي:

١ – تعويض سلبى neutral compensation:

يحدث التعويض السلبى حينمـا يكون محصـول كـل سـلالة مـن السـلالات المكونـة للمخلوط متساويًا – عند زراعتها منفـردة – مـع محصولهـا عندمـا تكـون فـى المخلـوط، ويكون المحصول المتوقع للمخلوط مماثلاً للمحصول الفعلى المشاهد.

٢ – تعويض مكمل complementary compensation:

يحدث التعويض المكمل عندما تتساوى الزيادة التى تحققها سلالة أو أكثر فى الإنتاج – عند وجودها فى المخلوط – مقارنة بإنتاجها عند زراعتها منفردة – مع النقـص الـذى يحدث فى إنتاج السـلالة أو السـلالات الأخرى فى المخلـوط، ويكـون المحصـول المتوقـع للمخلوط مماثلاً للمحصول الفعلى المشاهد.

٣ – تعويض غير كافٍ undercompensation:

يكون المحصول الفعلى المشاهد للمخلوط فى حالات التعويض غـير الكـافى أقـل مـن المحصول المتوقع؛ بسبب ضعف الزيادة التى تحققها سـلالة أو أكـثر فـى الإنتـاج عنـد وجـودها فى المخلوط (مقارنـــة بإنتاجـها عنـد زراعتـها منفـردة) مقارنـة بـالنقص الـذى يحدث فى إنتاج السـلالة أو السـلالات الأخرى فى المخلوط.

٤ – تعويض فائق overcompensation:

يكون المحصول الفعلـى المشـاهد للمخلـوط فـى حـالات التعويـض الفـائق أعلـى مـن المحصول المتوقع بسبب تفـوق الزيـادة التـى تحققـها سـلالة أو أكـثر فـى الإنتـاج عنـد وجودها فى المخلوط – مقارنة بإنتاجها عند زراعتها منفردة – عن النقص الذى يحـدث فى إنتاج السـلالة أو السـلالات الأخرى فى المخلوط.

وعمومًا .. فإن الانحرافات فى المحصول المشاهد عن المتوقع حسابيًّا لا تزيد – عـادة – عن ٥٪ ويتعين عند تحديد نسب المكونات المختلفة فى المخلوط زيادة نسب السـلالات ذات المحصول الأعلى، وإجراء الاختبارات اللازمة للتوصـل إلى المخـاليط التـى يحـدث فيها تعويض فائق.

عدد أجيال إكثار المخلوط

يبلغ عدد أجيال إكثار بذور المخلوط – بعد خلط مكوناتها وقبل اسـتعمالها مـن قبـل

المزارعين – صفرًا في حالة خلط البذور المعتمدة، وجيلاً واحدًا عند خلط البذور المسجلة، وجيلين عند خلط بذور الأساس، وثلاثة أجيال عند خلط بذور المربي. وغني عن البيان أن نسب السلالات تتغير أثناء إكثارها مخلوطة – حتى ولو كانت سلالات ذات أصول وراثية متشابهة؛ الأمر الذى يفضل بسببه تأجيل عملية خلط المكونات إلى ما قبل استعمالها من قبل المزارعين مباشرة (عن Fehr ١٩٨٧).



تقييم وتسجيل الأصناف الجديدة

دور القطاعين العام والخاص فى إنتاج الأصناف الجديدة

تتجه بعض دول العالم الآن (مثل الولايات المتحدة الأمريكية، وبعض دول غرب أوروبا) نحو قصر مهمة مربى النبات العاملين فى المؤسسات الحكومية على تحسين وتنمية الجيرمبلازم Germplasm Enhancement إلى درجة ما، ثم تسليم هذا الجيرمبلازم المحسن إلى مربى القطاع الخاص، ممثلاً فى شركات إنتاج البذور؛ للوصول به إلى مرحلة إنتاج الأصناف الجديدة.

ويرى Ryder (١٩٨٤) أن لهذا الاتجاه - الذى ازداد انتشاره- مساوئ عديدة، نلخصها فيما يلى:

١ – احتياج مربى القطاع الخاص إلى سنة أو أكثر؛ لكى يلموا بالجيرمبلازم الذى يكون جديدًا عليهم فى أغلب الحالات، وهو ما يعنى تأخيرًا بنفس القدر فى إنتاج الأصناف الجديدة.

٢ – قد يُفْقَدُ الجيرمبلازم الذى يوزع على مربى القطاع الخاص فى مرحلة مبكرة قبل تحسينه بشكل واضح، ما لم تكن به صفات وضاحة تهم شركات إنتاج البذور بالدرجة الأولى.

٣ – يؤدى توزيع الجيرمبلازم بعد وصوله إلى مرحلة متقدمة من التحسين على عدة شركات بذور فى آن واحد إلى احتمال إنتاج عدة أصناف جديدة متقاربة كثيرًا فى صفاتها، وتحمل أسماء مختلفة، مما يحدث بلبلة لدى المزارعين.

٤ – ليس من العدل حرمان المربى الذى طوّر الجيرمبلازم من إكمال مهمته وإنتاج الأصناف الجديدة بنفسه.

تقييم الأصناف الجديدة

يُجرى عديد من الاختبارات الموسعة على الأصناف المنتجة من برامج التربية، للتأكد

من تميزها على الأصناف المنتشرة فى الزراعة، قبل الإذن بتسجيلها كأصناف جديدة. ويكتفى فى هذه المرحلة بإعطاء هذه الأصناف رموزًا معينة، وتستمر الحال على هذا الوضع إلى أن يقتنع المربى بأن السلالات الناتجة من برامج التربية يمكن أن تصبح أصنافًا جديدة مميزة. وهو بذلك يتجنب إعطاء اسم لسلالة، ربما لا يكتب لها النجاح كصنف جديد.

تجنب عامل التنافس عند إجراء التقييم

يمكن أن تؤثر نباتات أحد الأصناف على نباتات الصنف المجاور لها خلال عملية التقييم، وهو أمر محتمل عندما يكون أحد الأصناف شديد الافتراش، أو زائد الطول، أو يميل إلى الرقاد ... إلخ؛ مما يؤثر حتمًا على النمو الطبيعى لنباتات الصنف المجاور له، وتعرف تلك الحقيقة باسم التنافس competition.

ويمكن التغلب على ظاهرة التنافس بزراعة الخطوات الحارسة (شكل ١٧-١)، حيث لا تسجل القياسات على الخطوط الخارجية التى تعد "حارسة" بالنسبة للخطوط الداخلية فى كل وحدة تجريبية، وهى التى تسجل عليها النتائج. ولا شك أن تلك الطريقة تستهلك قدرًا أكبر من البذور وتتطلب مساحة أكبر من الأرض عما لو لم تخصص خطوطًا حارسة، ويكون الفاقد فى المساحة المزروعة هو الثلثين عندما تتكون الوحدة التجريبية من ثلاثة خطوط، والنصف عندما تتكون الوحدة التجريبية من أربعة خطوط، والخمسين عندما تتكون الوحدة التجريبية من خمسة خطوط .. وهكذا. وقد تكون الوحدات التجريبية ملاصقة لبعضها أو متباعدة.

كذلك يمكن تقليل التنافس بين لوطات الأصناف بزراعة خط من صنف قياسى بين كل لوطين. تفيد تلك الطريقة فى توحيد شدة التنافس الذى تتعرض له جميع الأصناف المقيمة، ولكنها لا تلغى التنافس بينها كليًا كما فى الطريقة الأولى (عن Fehr ١٩٨٧).

مراعاة القواعد الإحصائية

تخضع اختبارات التقييم للقواعد الإحصائية، وتجرى وفقًا للتصميمات الإحصائية المعروفة التى يمكن الرجوع إلى تفاصيلها فى أى من مراجع الإحصاء، مثل: Cochran & Cox (١٩٥٧)، و Steel & Torrie (١٩٦٠)، و LeClerg وآخرين (١٩٦٢)،

و Snedecor & Cochran (١٩٦٧)، و Little & Hills (١٩٧٨)، و Bender وآخرين (١٩٨٢)، و Gomez & Gomez (١٩٨٤).

كما يمكن الرجوع إلى Harding (١٩٨٣) بشأن الأمور التي يجب أخذها في الحسبان عند تقييم الفاكهة، على أساس أنها أشجار معمرة لها مشاكلها الخاصة التي تختلف عن مشاكل تقييم النباتات الحولية.

٣ خطوط	٤ خطوط	٥ خطوط
●●●○○○	●●●●○○○○	●●●●●○○○○○
●●●○○○	●●●●○○○○	●●●●●○○○○○
●●●○○○	●●●●○○○○	●●●●●○○○○○
●●●○○○	●●●●○○○○	●●●●●○○○○○
●●●○○○	●●●●○○○○	●●●●●○○○○○
●●●○○○	●●●●○○○○	●●●●●○○○○○
●●●○○○	●●●●○○○○	●●●●●○○○○○

شكل (١٧-١): تجنب التنافس بين السلالات المقيمة المتجاورة بزراعة الخطوط الحارسة. يراجع المتن للتفاصيل.

قواعد إعطاء الأسماء للأصناف الجديدة

إلى أن يثبت نجاح الجيرمبلازم الجديد المنتج فإن المربى يجرى كل تجاربه عليه تحت رقم كودى، ولا يعطيه إسمًا إلا بعد أن يثبت نجاحه فى تجارب تقييم موسعة، الأمر الذى يفيد فى تحجيم أعداد الأصناف التي يتم تداولها، لأنه لا فائدة ترجى من إدخال صنف جديد فى الزراعة يكون مماثلاً لصنف آخر قديم، أو لا يتفوق على الأصناف المتداولة من نفس المحصول فى صفة واحدة مرغوب فيها على الأقل.

وعلى الرغم من أن القواعد الدولية لتسمية النباتات International Code of Botanical Nomenclature ليست ملزمة لأى أحد، وأنه لا توجد جهة معينة تختص بتنفيذها، إلا أن دولاً عديدة تسهم فى نجاحها بتبنى توصياتها - المقبولة - بصورة عامة - من مربى النباتات.

وبداية .. فإنه يتعين عند إعطاء الأسماء للأصناف الجديدة، تجنب ما يلى:

١ - التتابع الاعتباطى للحروف، والاختصارات، والأعداد.

٢ – استعمال أداة معينة (مثل: a، و an، و the) فى بداية الاسم، إلاّ إذا كان ذلك عادة لغوية.

٣ – بداية الاسم بكلمة مختصرة abbreviation.

٤ – الأسماء التى تتضمن عناوين.

٥ – الأسماء التى تحتوى على كلمات طويلة جدًّا.

٦ – الأسماء التى سبق أن أعطيت لأصناف أخرى من نفس المحصول.

٧ – الأسماء التى قد تختلط مع أسماء الأصناف الأخرى من ذات المحصول

كذلك تؤكد القواعد الدولية لتسمية الأصناف الجديدة على أهمية مراعاة ما يلى:

١ – عدم وضع اختصارات فى الأسماء باستثناء ما جرى العرف عليه. مثل: VFN التى تعنى المقاومة لأمراض ذبول فيرتسيليم، والذبول الفيوزارى، ونيماتودا تعقد الجذور.

٢ – عدم وضع أسماء على شكل عناوين.

٣ – عدم وضع أسماء بها مبالغات فى وصف مميزات الصنف.

٤ – عدم تكرار أسماء أصناف أخرى من نفس المحصول، حتى لو كانت قديمة، ولم تعد مستخدمة فى الزراعة.

٥ – عدم وضع أسماء يمكن أن تختلط بأسماء أصناف أخرى معروفة من المحصول نفسه؛ كان تكون متقاربة كثيرًا فى طريقة نطقها، مع اختلاف الأحرف الهجائية التى تتكون منها.

٦ – يجب ألا يشتمل الاسم على كلمة تلقيح cross، أو هجين hybrid.

٧ – يجب ألا يزيد الاسم على ثلاث كلمات، ويفضل أن يتكون من كلمة واحدة أو كلمتين، مع اعتبار كل تتابع لحروف أو أرقام أو اختصارات بمثابة كلمة واحدة.

٨ – يجب ألا يشتمل الاسم على كلمات لاتينية.

٩ – يمكن أن يتضمن الاسم اسم شركة بذور. ويجب – فى هذه الحالة – استعمال اسم الصنف كاملا – دائمًا – بما فى ذلك اسم الشركة، حتى لو سوّق الصنف بواسطة شركة بذور أخرى. وعلى العكس من ذلك.. يجب عدم إضافة اسم الشركة المنتجة للبذور إلى اسم الصنف، إن لم يكن اسمها جزءًا من الاسم المعتمد للصنف.

١٠ – عندما يكون الاسم بلغة مشتقة من اللاتينية (كاللغتين الإنجليزية والفرنسية) يكون الحرف الأول بكل كلمة من الكلمات – التى يتكون منها الاسم – حرفًا كبيرًا capital، إلا إذا تعارض ذلك مع قواعد اللغة.

تطبق القواعد السابقة نفسها على الهجن؛ لأنها أصناف أيضًا. ومن المشاكل التى تبرز – أحيانًا – بالنسبة للهجن فى هذا الخصوص أن الهجين الواحد قد ينتج بواسطة شركات بذور مختلفة تحت أسماء مختلفة. ويجب فى هذه الحالة الاحتفاظ باسم واحد للهجين، يكون هو الاسم الذى أعطته إياه الجهة التى أنتجت سلالات آباء هذا الهجين؛ فإن لم تكن الجهة المنتجة للآباء قد أعطت الهجين اسمًا .. لزم الاحتفاظ بالاسم الذى أعطته أول جهة أنتجت الهجين.

وتختلف طريقة تسمية الأصناف الجديدة من برنامج تربية إلى آخر، وغالبًا ما تتضمن أسماء المدن، أو المناطق التى أنتجت فيها الأصناف. وقد يطلق على الأصناف أسماء مربين سابقين، أو علماء بارزين فى المجال الزراعى. وقد تستخدم الأرقام لتحديد هوية الأصناف الجديدة، على أن تأخذ الأصناف المختلفة سلسلة من الأرقام، تأتى بعد اسم الولاية، أو الشركة، أو المنظمة المنتجة لهذه الأصناف. وقد تشير الأرقام إلى نسب الصنف فى برنامج التربية، كما قد تشير الرموز إلى مقاومة أمراض معينة، أو القدرة على تحمل ظروف بيئية خاصة؛ فمثلاً .. تشير الرموز UC إلى جامعة كاليفورنيا University of California، و ST إلى تحمل الملوحة Salt Tolerance، و N إلى المقاومة لنيماتودا تعقد الجذور Nematodes ... إلخ.

ويبقى الصنف محتفظًا باسمه، ولو لم يكتب له النجاح، ولم تنتشر زراعته. ولا يجوز إعطاء نفس الاسم لصنف آخر من نفس المحصول فى أى وقت بعد ذلك (عن Fehr ١٩٨٧، و George ١٩٩٩).

هذا .. وتُنْشرَ – فى الولايات المتحدة الأمريكية – مواصفات أصناف المحاصيل الحقلية الجديدة فى مجلة Crop Science، ومواصفات المحاصيل البستانية الجديدة فى مجلة HortScience.

قواعد تسجيل الأصناف الجديدة

يسبق تسجيل الأصناف الجديدة والإعلان عنها ضرورة تقييمها على نطاق واسع،

ثم تحديد هويتها بوضع أسماء لها كما سبق بيانه، كما يتعين تحديد المناطق المناسبة لزراعة الأصناف الجديدة. وبرغم أن هذه الأمور تهم المربى بالدرجة الأولى .. إلى أنه نادرًا ما ينفرد بها وحده، وإنما يتقرر ذلك بواسطة لجنة خاصة يطلق عليها اسم Naming and Release Committee يفترض وجودها فى كل هيئة، أو مؤسسة ذات نشاط فى مجال تربية النبات. ويكون المربى – عادة – عضوًا فى هذه اللجنة.

يقدم المربى إلى اللجنة كافة البيانات الخاصة بالصنف الجديد، التى جمعها خلال فترة التقييم الموسع. ويجب أن يتضمن ذلك بيانات عن المحصول، وصفات الجودة، والنضج، والصفات المورفولوجية، والمقاومة للأمراض، والقدرة على تحمل ظروف بيئية معينة ... إلخ، كما يجب على المربى تزويد اللجنة كذلك بكافة عيوب الصنف الجديد المقترح. وتُحدَّد المناطق التى تنتشر فيها زراعة الأصناف الجديدة من واقع البيانات المقدمة، ومدى جودته فى المناطق التى اختبر فيها. وتبدأ زراعة الأصناف الجديدة فى مساحات صغيرة نسبيًا، ثم يترك للمزارعين أن يقرروا – بأنفسهم – مدى صلاحية هذه الأصناف للزراعة (Janick وآخرون ١٩٨٣).

وفى مصر .. يتطلب تسجيل الأصناف الجديدة التقدم بذلك إلى لجنة مختصة، مع موافاتها بما يلى:

١ – اسم الصنف الجديد، وأصله ونشأته، والخواص المميزة له.

٢ – أنواع التجارب التى أجريت لاختباره، ومدتها، ونتائجها.

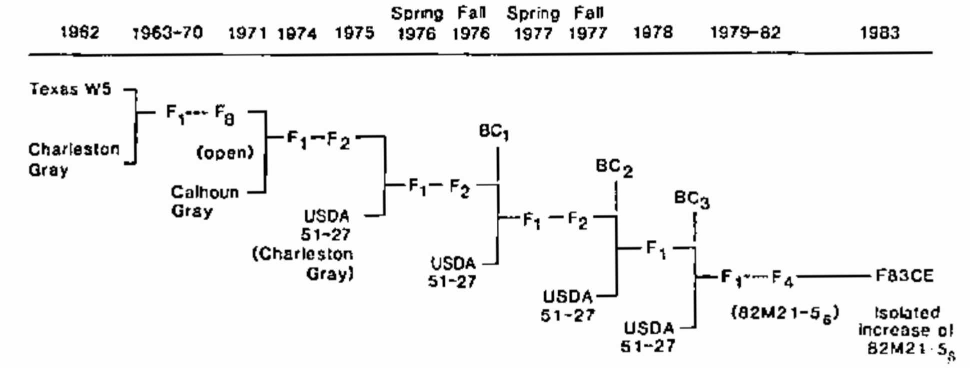
تفحص اللجنة طلبات التسجيل، ولها فى سبيل أداء مهمتها تكليف الطالب موافاتها بما تراه لازمًا من البيانات، وتقديم الكميات التى تحددها من تقاوى الصنف الجديد؛ لإجراء التجارب عليها، ولها أن تعهد إلى الهيئات والمصالح، والأقسام الفنية المختصة بوزارة الزراعة؛ باختبار أصناف الحاصلات الزراعية المستحدثة المطلوب تسجيلها. ولا يجوز – فى جميع الحالات – أن تقل مدة التجارب عن سنتين.

ولا يجوز تسجيل الصنف الجديد إلا إذا ثبت من تجربته تفوقه على غيره من الأصناف الأخرى فى إحدى صفاته الزراعية، أو ميزاته الاقتصادية.

النشر العلمى للأصناف الجديدة

يعد نشر الحقائق العلمية المتجمعة عن الصنف الجديد مكملاً لخطوة تسجيل

الصنف فى تحقيق الفائدة المرجوة منه، فهو يحفظ للمربى حقوقه الأدبية فى الصنف الجديد، ويعرِّف - كل من يهمه الأمر - بأصل الصنف، ونَسَبه، وكيفية إنتاجه، ومميزاته، وعيوبه، ونتائج تجارب التقييم التى أجريت عليه، ومدتها. ويكون النشر فى الدوريات العلمية المتخصصة التى تخضع بحوثها للتحكيم. وتبين أشكال (١٧-٢)، و (١٧-٣)، (١٧-٤)، و (١٧-٥) نَسَبْ أربعة من الأصناف والسلالات؛ كأمثلة للكيفية التى تعرض بها نشأة، وطريقة إنتاج الأصناف الجديدة عند نشرها علميًّا.

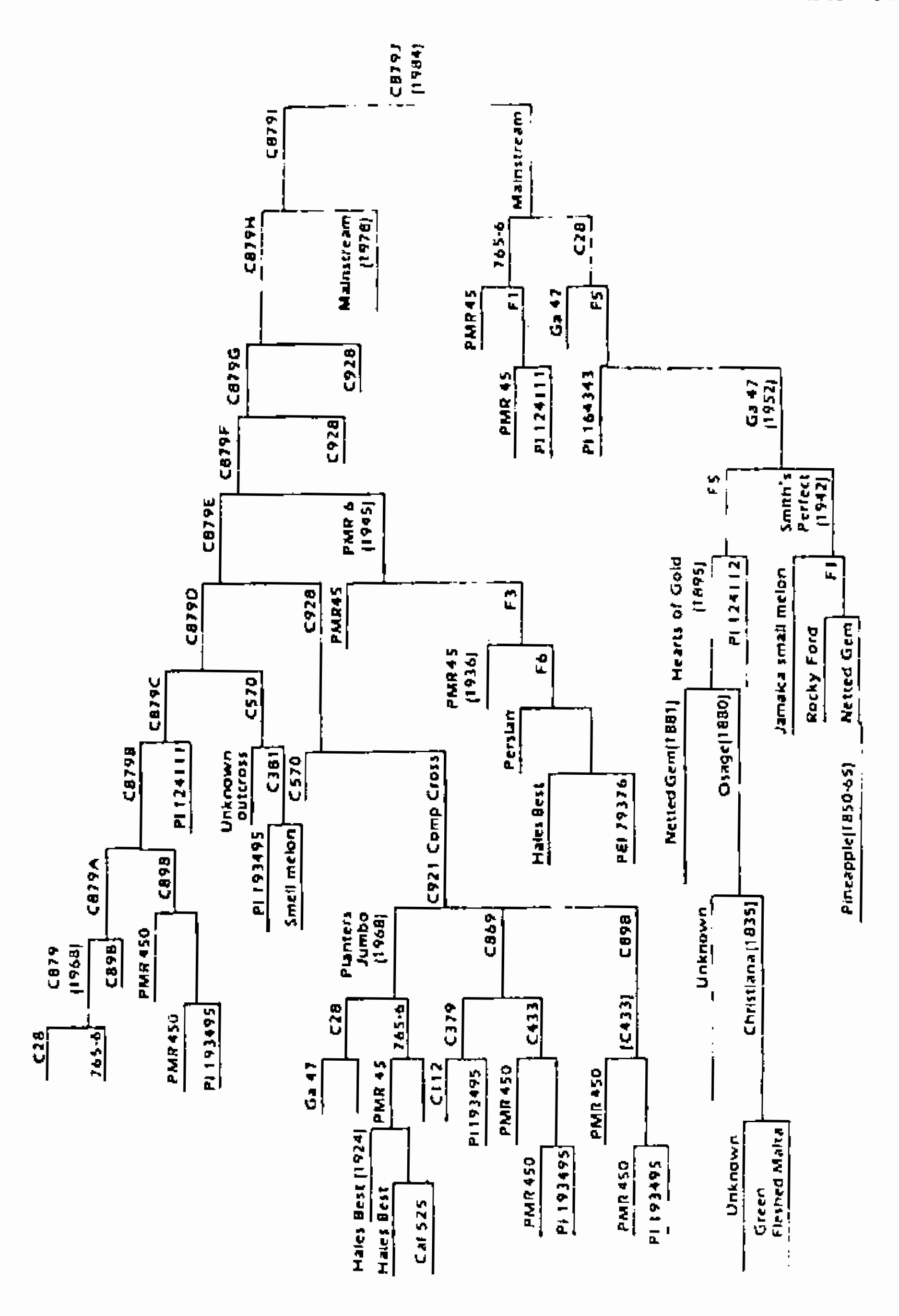


شكل (١٧-٢): نَسَب صنف البطيخ Charlee كمثال لسجلات النسب (Crall ١٩٩٠).

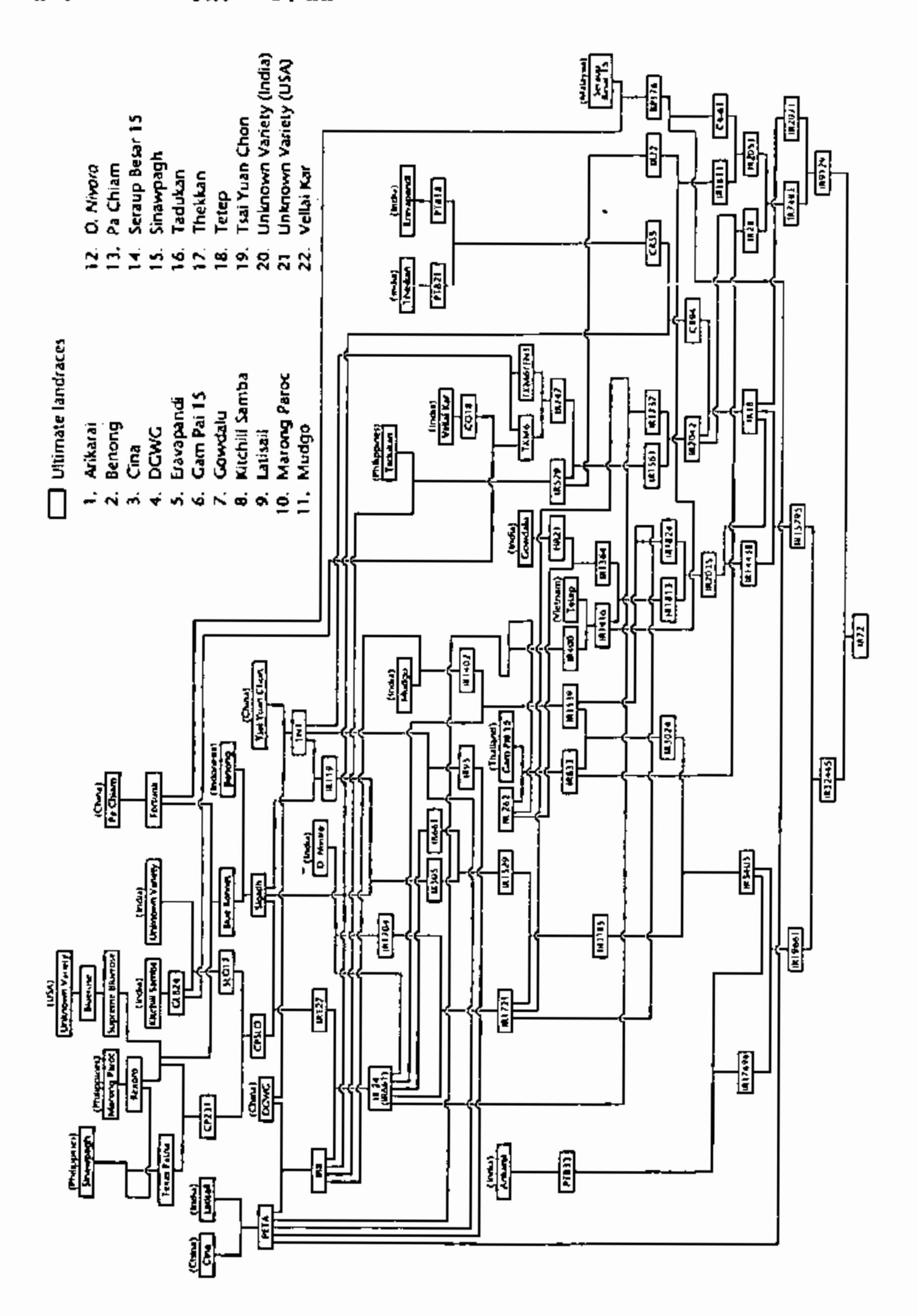
حقوق المربى

تعريفات

يُمنح مربى النبات، والشركات المنتجة للأصناف الجديدة - فى عديد من دول العالم - براءة تسجيل الأصناف الجديد بأسمائهم؛ مما يحفظ لهم حقوقهم فى إنتاج الأصناف لحسابهم، ويمكِّنهم من الحصول على عائد مادى، مقابل ما بذلوه من وقت، وجهد، ومال فى سبيل إنتاج هذه الأصناف. كما يسهم ذلك فى إذكاء المنافسة بين شركات البذور، وهو ما ينعكس - إيجابيًّا - على الأصناف الجديدة المنتجة. وتعرف القوانين التى تنظم هذه الحقوق ببراءة النباتات Plant Patents.



شكل (١٧–٣): نسب سلالة القاوون **C879** كمثال لسجلات النسب (**Nugent** ١٩٨٧).

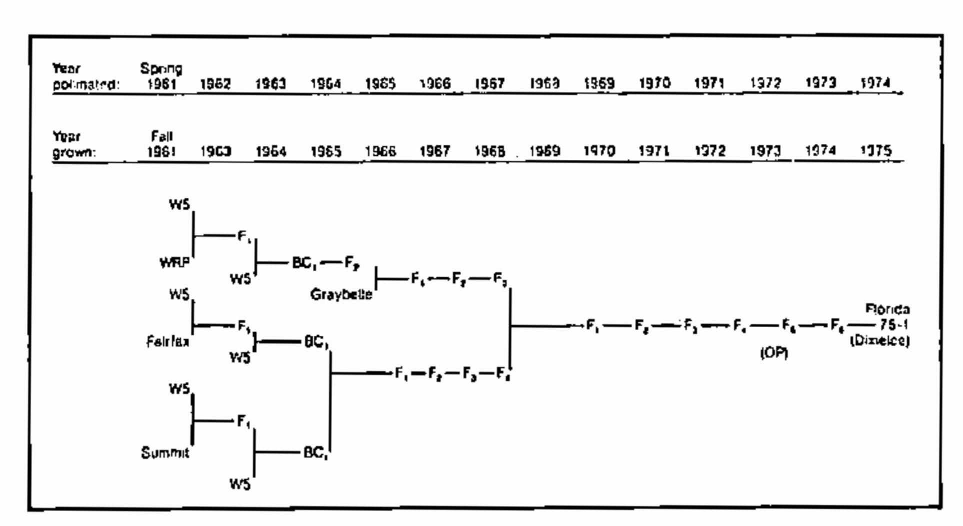


شكل (١٧-٤): نسب صنف الأرز IR-72 – الذى أنتج فى معهد بحوث الأرز الدولى، كمثال لسجلات النسب (عن Chrispeels & Sadava ١٩٩٤).

تأخذ المحافظة على حقوق المربى صورًا مختلفـة، ولكنـها تسـمى – عمومًـا – باسـم حقوق الملكية الفكرية intellectual property rights، ومن الصور الأخـرى لحفـظ حقـوق الملكية الفكرية بصـورة عامـة: الـبراءات patents، والعلامـات التجاريـة trade-marks، والأسرار التجارية trade secrets، وحقوق النشر copyright، وحقوق الأصنـاف النباتيـة ... إلخ. وبالنسبة لتجارة البذور .. فإن أهم صور حفظ حقوق الملكية الفكرية، هى حقوق الأصنـاف النباتيـة (أو حقـوق مربـى النبـات)، والـبراءات (عــن Gatehouse وآخريــن ١٩٩٢).

ويعرف الـ patent بأنه حق تمنحه حكومة ما (أى حكومة) للمخـترع لمنـع الآخريـن من تقليد الشئ المخترع، أو تصنيعه، أو استعماله بغير الوجه القانونى، أو بيعه تجاريًـا خلال فترة منح ذلك الحق، ويدخل ضمن الاختراعـات الأصنـاف الجديـدة المنتجـة مـن مختلف المحاصيل الزراعية.

وبينما توفر الـ plant patents حماية للنبـات كـاملاً كمـا يوصـف، فـإن الـ utility patents توفر الحماية للجينات، والصفات النباتية، والمنتجات التى يُحصل عليـها مـن النباتات (Moore ١٩٩٣).



شكل (١٧–٥): نَسَبْ صنف البطيخ دكسى لى Dixelee كمثال لسـجلات النسـب (Mohr ١٩٨٦).

قواعد منح الـ Patents

يتطلب منح حق الـ patent للصنف الجديد، ما يلي:

١ – أن يكون مميزًا ومختلفًا بوضوح عن أى صنف آخر فى صفة واحدة على الأقل ولا يشترط أن تكون هذه الصفة اقتصادية.

وفي محاصيل الفاكهة يشترط إلى جانب اختلافها الواضح عن غيرها من الأصناف (distinctivess) .. أن يكون إكثارها خضريًا، وألاّ يكون قد تم تداولها أو بيعت لأكثر من عام قبل التقدم للحصول على الحماية القانونية لها.

٢ – أن يكون على درجة معقولة من التجانس، وأن تكون الاختلافات بين النباتات – فى أية صفة – فى حدود التباين العام للصنف فى هذه الصفة.

وتطبق قواعد براءة التسجيل على آباء الهجن، وليس على الهجن ذاتها. ويرجع ذلك إلى أن الهجن ليست ثابتة وراثيًا.

ويتعين أن يتقدم المربى بطلب البراءة فى خلال فترة زمنية وجيزة بعد إنتاج الصنف.

وتمنح الـ patents لفترة محدودة تتراوح – عادة – بين ١٥، و ٢٠ سنة فى مختلف الدول. ويعطى القانون المربى حق إكثار الصنف بنفسه، أو بمعرفة من يختارهم خلال تلك الفترة. ويحق له خلالها التحكم فى كمية البذور المعروضة للبيع. ويحق للمربى كذلك أن يشترط إن كانت بذور الصنف الجديد تعرض للبيع، وهى غير معتمدة رسميًا، أم بعد اعتمادها، علمًا بأن شرط اعتماد البذور يجعل من السهل ضبط حالات التوزيع غير القانونى لبذور الصنف الجديد.

وعلى الرغم من أن الـ patent لا يكون ملزمًا إلاّ فى الدولة المانحة له، فإن توقيع تجمعات الدول فى أى منظمة أو اتحاد يعد ملزمًا لجميع دول تلك المنظمة أو الاتحاد، كما هو الحال فى دول السوق الأوربية المشتركة EEC، ومنظمة التجارة العالمية WTO (عن Singh ١٩٩٣).

هذا .. إلا أن أى مزارع يمكنه إنتاج احتياجاته من بذور أى صنف – ولو كان محميًا ببراءة تسجيل – مادام لا يزاول نشاطًا تجاريًا بهذه البذور. كما يمكن لأى

مربى، أو شركة بذور أن تستخدم الأصناف المحمية كآباء للهجن، أو فى برامج التربيـة العادية، أو بالطفرات.

تطور قوانين حماية الملكية الفكرية

تتوفر الحمايـة لحقـوق الملكيـة الفكريـة Intellectual Properly Rights (اختصـارًا: IPR) – فيما يتعلق بحقوق المربى – فى الولايات المتحدة – مـن خـلال ثلاثـة قوانـين، كما يلى:

١ – قانون الـ Plant Patents الذى صـدر فـى عـام ١٩٣٠ والـذى عنـى بالمحـاصيل الخضرية التكاثر.

٢ – قانون حماية الأصناف النباتية Plant Variety Protection Act الذى صـدر فـى عام ١٩٧٠، وهو صـورة معدلـة مـن نظـام حقـوق المربـى الـذى تـأخذ بـه دول الاتحـاد الأوروبى.

وبالنسبة للقانون الأول الخاص بالمحاصيل الخضرية التكاثر، فقـد اشـترط ألاّ يكـون الجزء المستعمل فى التكاثر هو نفسه الجزء المستعمل فى الغذاء، وعليه .. فإن القانون لم يكن ساريًا على الأصناف الجديدة المنتجة من محاصيل مثل البطاطس، والبطاطا. كما لم يطبق القانون على النباتات التى وجدت نامية بريًا، واستئنست فى الزراعة. وقد أعطـى القانون للمربى الحق فى إنتاج الصنف لحسابه لمدة ١٧ عامًا. أما القانون الثـانى .. فقـد عدّل القانون الأول، بحيث أصبح بإمكان المربى الحصول على براءة تسـجيل الأصنـاف الجديدة من كافة المحاصيل الخضرية التكاثر، والبذرية التكاثر على حد سواء.

٣ – الـ Utility Patent Act الصـادر عـام ١٩٨٥، وهـو يغطـى الأصنـاف النباتيـة، والجينات، والتقنيات.

وبالنظر إلى أن الحصول على patent يعتبر أمرً مكلفًا، وأن هذا الحق لا يسـرى إلا فى الدولة المانحة له، وأن الـدول تختلـف فـى شـروط إعطـاء هـذا الحـق، فضـلاً عـن أنـه يستحيل الحصول عليه فى مختلف دول العالم منفردة، لذا .. كان من الضرورى إيجـاد قانون ملزم لمختلف الدول الموقعة عليه. وقد كانت بداية الجهود فـى هـذا الاتجـاه تلـك التى تمخض عنها مؤتمر باريس سـنة ١٩٨٣ فى صورة قانون لحماية الملكيـة الصناعيـة،

والذى وقعت عليه معظم دول العالم، وتتم إدارة ذلك القانون بواسطة الـ World International Property Organisation (اختصارًا: WIPO)، ومقرها جنيف.

وتعد اتفاقية Trade Related Intellectual Property Rights (اختصارًا: TRIPs) التى تشكل جزءًا من الـ Uruguay Round لاتفاقية الجات GATT (General Agreement of Tariffs and Trade) .. تعد حاليًا أكثر الاتفاقيات شمولاً وانتشارًا على المستوى الدولى فيما يتعلق بحقوق الملكية الفكرية Intellectual Property Rights (اختصارًا: IPR)، وهى التى أصبحت فعالة منذ أول يناير ١٩٩٥. وتتم إدارة وتنفيذ قوانين الجات بواسطة منظمة التجارة العالمية ومقرها جنيف، وعلى جميع الدول الأعضاء فى منظمة التجارة العالمية الالتزام بكل مواد اتفاقية الـ TRIPs، ولقد أعطيت تلك الدول خمس سنوات لتوفيق أوضاعها فيما يتعلق بقوانين حماية الملكية الفردية، ومدت تلك الفترة لخمس سنوات أخرى بالنسبة للدول النامية. وتوفر اتفاقية TRIPs الحماية لعدة نوعيات من الملكية الفكرية، وتتضمن الأصناف النباتية الجديدة.

وتوفر القوانين الدولية حماية - كذلك - للتقنيات الحيوية، مثل:

١ – طرق تمثيل أو تصنيع منتج حيوى.

٢ – المنتجات الحيوية المختلفة، مثل المضادات الحيوية، والفيتامينات النقية .. إلخ.

٣ – تطبيقات مختلف الطرق أو المنتجات الحيوية، مثل استعمال كائن أو منتج فى المكافحة الحيوية.

٤ – الكائنات الدقيقة المختلفة، والسلالات النباتية والحيوانية التى يتحصل عليها من خلال التقنيات الحيوية.

٥ – ترتيب القواعد فى الدنا والبروتينات التى قد تنتج من خلال ذلك الترتيب.

٦ – التقنيات الحيوية التى قد تؤثر على خصائص مختلف الكائنات الحية.

وبناء على ما تقدم بيانه .. فإن من الممكن توفير الحماية الفكرية لأى جين جديد يتم تمثيله أو عزله، لاستخدامه فى مجال الهندسة الوراثية، إلا أن الجينات المعزولة من كائنات حية لا تعترف كثير من الدول بتوفير الحماية الفكرية لها، وكذلك توفير

الحماية لأى صنف جديد محول وراثيًا، وأى طريقة تستعمل فى إجــراء عمليـة التحـول الوراثى.

وحاليًا – تتوفر الحماية الدولية لحقوق المربى Plant Breeder's Rights (اختصـارًا: PBR) – فى أصنافه الجديدة التى ينتجها – بفضـل قـانون صـدر عـام ١٩٩١ للاتحـاد الدولى لحماية الأصناف النباتية الجديدة International Union for Protection of New Plant Varieties (أو Union International pour la Protection der Obstentions Vegetales – اختصـارًا: UPOV).

ومن أهم ما تميز به ذلك القانون، ما يلى:

١ – تمتد الحماية إلى أصناف جميع الأنواع والأجناس النباتية.

٢ – تمتد الحماية لمدة ٢٠ عامًا.

٣ – تشمل الحماية كل أجزاء الصنف النباتى المعنى وليس لأجزائـه المستعملة فـى التكاثر فقط.

٤ – لا تمتد الحماية للأصناف التى تعد مجرد تطوير لأصناف سابقة.

ويشترط هذا القانون لحماية حقوق المربى فى الصنف الجديد، ما يلى:

١ – أن يكون جديدًا (novelty)، حيث لا يجب أن يكون قد اسـتعمل فـى الزراعـة لأكثر من عام واحد قبل التقدم بطلب الحماية.

٢ – أن يكون مميزًا بوضوح (distinctiveness)، حيــث يجـب أن يختلـف الصنـف الجديد عن الأصناف الأخرى من المحصول فى صفة واحدة على الأقل، مورفولوجيــة أو فسيولوجية ... إلخ.

٣ – التجانس uniformity، حيث يجب أن يكون الصنف الجديد تام التجانس فــى منطقة تأقلمه البيئى.

٤ – الثبات stability، حيث يجـب أن يبقـى الصنـف الجديـد ثـابت فـى مظـهره وخصائصه لعدة أجيال تحت ظروف تأقلمه البيئى.

يوفر هذا القانون (قانون عام ١٩٩١ للـ UPOV) ما يلى:

١ – الحق الكامل لصاحب الحماية فى الإنتاج التجـارى للصنـف، وعرضـه للبيـع، وبيعه.

٢ – يسمح للمزارع بالاحتفاظ بجزء من محصوله لاستعماله الشخصى فى الزراعة فى موسم تالٍ؛ وهو ما يعرف باسم farmer's exemption، ولكن لا يسمح للمزارع ببيع تقاوى الصنف.

٣ – لا يسمح بتبادل تقاوى الأصناف المحمية بين المزارعين.

٤ – يتوقف استخدام الأجزاء المستعملة فى التكاثر من الأصناف المحمية فى الأغراض البحثية على موافقة صاحب الحماية.

٥ – لا يحتاج استعمال الأصناف المحمية – بغرض إنتاج تباينات وراثية لأغراض تربية النبات – إلى موافقة صاحب الحماية؛ وهو ما يعرف باسم breeder's exemption، لكن لا يدخل ضمن ذلك محاولات إدخال تعديلات طفيفة على الصنف المحمى، مثلما يكون عليه الحال فى التربية بالطفرات أو بطريقة التهجين الرجعى (عن Singh ١٩٩٣).

ومن أهم المزايا التى يوفرها قانون حفظ حقوق المربى، ما يلى:

١ – يوفر لمربى الأصناف الجديدة عائدًا ماليًّا من استعمال تلك الأصناف فى الإنتاج الزراعى؛ الأمر الذى يعد حافزًا لاستمرار بحوث تربية النبات.

٢ – تشجيع الشركات الخاصة للاستثمار فى أنشطة تربية النبات.

٣ – تجعل من الممكن الحصول على أصناف متميزة أنتجت فى دول أخرى طالما كان هناك ضمان لاستمرار الحماية لتلك الأصناف.

٤ – تشجيع التنافس بين مختلف المنظمات المهتمة بتربية النبات، وتقليل الاعتماد على المؤسسات الحكومية.

ولكن يعاب على قوانين حفظ حقوق المربى، ما يلى:

١ – تشجيع احتكار الجيرمبلازم المتميز فى صفات معينة، وقد تحاول الشركات المنتجة له التحكم الكامل فى سلسلة إنتاج الغذاء.

٢ زيادة الأعباء على المزارعين فى الدول النامية؛ نتيجة لارتفاع أسعار التقاوى وضرورة استيرادها سنويًّا.

٣ – تقييد التداول الحر للجيرمبلازم بين المهتمين به؛ مما يضر بالدول النامية، وهى التى يتواجد فيها معظم التباينات الوراثية.

٤ – قد تركز الشركات المنتجة للجيرمبلازم الجديد على الأصناف التى يلزمها معاملات خاصة بمواد تنتجها تلك الشركات.

٥ – قد ينتج صاحب حق الحماية للصنف الجديد كمية قليلة من البذور بهدف رفع أسعارها.

٦ – عدم إتاحة الجيرمبلازم الجديد المتميز للمؤسسات البحثية الحكومية إذا أرتات شركات القطاع الخاص المنتجة له ذلك

٧ – بطء انتشار زراعة الأصناف الجديدة المتميزة نظرًا لعدم السماح بتداولها بين المزارعين.

٨ – عدم قدرة الشركات الصغيرة الناشئة على المنافسة (عن King ١٩٩١، و Singh ١٩٩٣، و Chahal & Gosal ٢٠٠٢).

هذا .. وقد أعطى المؤتمر الدولى للتباين البيولوجى International Convention on Biological Diversity (اختصارًا: ICBD) – الذى عقد فى عام ١٩٩٣ – أعطى للدول الموقعة عليه (أكثر من ١٧٠ دولة) الحق فى السيطرة على ثراوتها الوراثية، وكذلك فى الحصول على ما يكون قد نقل منها من قبل، والمشاركة فى الفوائد التى تحققت منها (عن Singh ١٩٩٣).

وبذا .. فإن وثيقة مؤتمر التباين البيولوجى تُسهم فى الحفاظ على الثروة النباتية لكوكب الأرض، وحمياتها، والمشاركة فيها، وتعد هى المعاهدة الدولية الأولى التى تهتم بالتطور المستدام sustainable development للثروة النباتية، حيث تتناول كلاً من الأنواع البرية والمزروعة (عن Chopra ٢٠٠٠).

وسائل التمييز بين الأصناف والتعرف عليها

لمّا كان تحديد صفات الصنف الجديد، والتمييز بينه وبين الأصناف القريبة منه يعد شرطًا أساسيًا للحصول على براءة تسجيل لهذا الصنف؛ لذا .. نشط البحث العلمى فى هذا المجال؛ نظرًا لأن الوصف المورفولوجى للأصناف الجديدة لم يعد كافيًا، واستخدمت عدة طرق أخرى؛ للتمييز بين الأصناف، نذكر منها ما يلى:

التمييز أو التقسيم على أسس كيميائية

من أمثلة الطرق الكيميائية (chemotaxonomy) التى استخدمت بنجاح، ما يلى:

١ – اختبار الفينول فى القمح.

٢ – اختبار الاستشعاع fluorescence فى الزوان ryegrass.

٣ – اختبارات الكروماتوجرافى للمواد الفلافونية flavonoid pattern فى الأغلفة البذرية الفاصوليا، وفى بادرات الفاصوليا والبطيخ والخيار، والفول الرومى والبسلة والسبانخ، وأزهار الفول الرومى. وكانت المحاولات ناجحة فى هذه المحاصيل، إلا أن الطرز الفلافونية لم تستخدم – منفردة – فى تمييز أصناف هذه المحاصيل (George ١٩٩٩).

٤ – استخدمت تقنية الـ Ion exchange (LE)-HPLC فى التمييز بين الأصناف من خلال تحديدها للـ protein profile فى بذور بعض المحاصيل، مثل البروكولى والقنبيط (Mennella وآخرون ١٩٩٦).

اختبار الفصل الكهربائى

يتم فى هذا الاختبار فصل مركبات مميزة للصنف فى جل يسرى به تيار كهربائى (اختبارات الـ Electrophoresis).

ومن الأمثلة الناجحة لتمييز الأصناف بهذه الطريقة ما يلى:

١ – اختبار الـ starch gel electrophoresis فى القمح.

٢ – استخدمت هذه الطريقة بنجاح كذلك فى تمييز أصناف الفراولة؛ ففى ولاية كاليفورنيا الأمريكية .. حصلت جميع الأصناف التى أنتجت منذ عام ١٩٦٨ على براءة تسجيل. وتمكن Bringhurst وآخرون (١٩٨١) من استخدام الـ starch-gel electro-phoresis فى التمييز بين عدد كبير من هذه الأصناف؛ حيث تبين اختلاف ١٤ صنفًا – من أصل ٢٢ صنفًا منها – فى الـ isoenzyme pattern لثلاثة إنزيمات هى: PGI، و LAP، و PGM.

٣ – توصل Hussain وآخرون (١٩٨٦) إلى طريقة أمكن بواسطتها التمييز بين أصناف الفاصوليا. وتعتمد هذه الطريقة على فصل أنواع البروتينات التى توجد فى البذور بالـ

electrophoresis، حيث كانت الـ banding patterns ثابتة لكل صنف. وقد استخدم الباحثون جلاً خاصًا هو الـ SDS polyacryl-amide gel.

الطرز المتشابهة من الإنزيمات

إن الطرز المتشابهة من الإنزيمات (الأيزوزيمات) isozymes هي طرز جزيئية molecular forms مختلفة لإنزيم واحد، يُتحصل عليها من نسيجٍ ما للكائن الحيّ. وتنفصل هذه الطرز عادة عن بعضها إذا تعرضت لتيار كهربائي وهي في جل، حيث ترحل خلال الجل بدرجات متفاوتة، ثم يمكن تحديد مواقعها، ورؤيتها، بوضع الجل في محلول مناسب للمادة التي يعمل عليها الإنزيم substrate، ثم صبغ الناتج النهائي للتفاعل. وتؤدي هذه الطريقة إلى تكوين أحزمة bands مستقلة؛ يتحدد موقعها في الجل لكل من شحنة الإنزيم المشابه isozyme، ووزنه الجزيئي. وغالبًا ما يستعمل في الاختبار العصير الخلوي الطبيعي الذي ينتج من عصر النسيج النباتي.

ونظرًا لأن كل إنزيم يتحكم في تكوينه جين معين بشكل مباشر؛ لذا .. فإن هذه الطريقة تعطي الدليل المباشر على وجود الجين، بدلاً من دراسة تأثيره الظاهري، أو الفسيولوجي. وهي طريقة سهلة، وسريعة، ويمكن استخدامها في تعرف وجود أي جين في أطوار النمو المبكرة، حتى في البذور ذاتها أحيانًا. ويعد تمييز الأصناف أحد الاستخدامات المهمة لاختبارات الإنزيمات الشبيهة isozymes.

ومن الاستخدامات المهمة الأخرى للإنزيمات الشبيهة أنها قد تكون شديدة الارتباط بجينات مهمة، وتنعزل معها دائمًا؛ وبذا .. يمكن التعرف على النباتات الحاملة لهذه الصفات، وذلك بالتعرف على الإنزيمات الشبيهة المرتبطة بها. ومن أمثلة ذلك الارتباط الشديد الذي وجد في الطماطم بين الموقع الجيني الذي يتحكم في الإنزيم acid phosphatase (الجين Aps-1)، وجين المقاومة لنيماتودا تعقد الجذور Mi.

وقد اكتشفت المقاومة للنيماتودا في إحدى سلالات النوع البري *Lycopersicon peruvianum*، وكانت المقاومة مرتبطة – دائمًا – بحزام الـ *acid phosphatase* أما الهجن بين *L. peruvianum*، و *L. esculentum* فقد احتوت على الأحزمة الأبوية، وحزام آخر "هجين" يظهر دائمًا في موضع وسطي بينهما. ويمكن التعرف على التراكيب

الوراثية الثلاثة (المقاوم الأصيل، والقابل للإصابة الأصيل، والهجين) بسهولة باختبار الإنزيمات الشبيهة للعصير الخلوى الذى يمكن الحصول عليه من أى نسيج نباتى (الجذور، أو السيقان، أو الأوراق) فى أى مرحلة للنمو (Rick ١٩٨٢). ولمزيد من التفاصيل عن الإنزيمات الشبيهة، واختباراتها، واستخداماتها فى مجال الدراسات الوراثية وتربية النبات .. يراجع Jacobs (١٩٧٥ أ، و ١٩٧٥ ب).

وقد استخدمت تقنية فصل الأيزوزيمات وتحديد طرزها isozyme patterns فى تمييز أصناف محاصيل عديدة أخرى، منها: الأسبرجس (Lallemand وآخرون ١٩٩٤).

تقنيات الدنا

كثر استخدام تقنيات الدنا (الـ DNA) فى تحديد البصمة الوراثية للأصناف، ومن بين التقنيات التى استخدمت فى هذا المجال ما يلى:

تقنية الـ RAPD:

استخدمت تقنية الـ random amplified polymorphic DNA (اختصارًا: RAPD) فى تمييز أصناف محاصيل عديدة، منها: البطاطس (Mori وآخرون ١٩٩٣)، والكرنب (Echeverrigaray & Cansian ٢٠٠٠)، والفلفل (Ilba ٢٠٠٣)، والقنبيط (Boury وآخرون ١٩٩٢).

تقنية الـ AFLP

استخدمت تقنية الـ amplified fragment length polymorphism (اختصارًا: AFLP) فى تمييز أصناف بعض المحاصيل، منها الثوم (Garcia-Lampasona وآخرون ٢٠٠٣).

تقنية الـ PCR-DAF

استخدمت تقنية الـ polymerase chain reaction (PCR)-based DNA amplification fingerprinting (DAF) فى تمييز أصناف البطاطا (Prakash وآخرون ١٩٩٦).

إكثار تقاوى الأصناف الجديدة

تمر البذور بأربع مراحل أثناء إكثارها قبل أن يقتنيها المزارعون، وهى كما يلى:

١ – بذور المربى Breeder Seed:

إن بذور المربى هى كمية صغيرة من البذور، يشعر المربى أنها تمثـل الصنـف الجديـد تمثيلاً صـادقًا. وتتوقف الكمية المناسبة من بذور المربى على حجم بذور النوع المحصـولى، وتتراوح من كيلو جرام واحد، أو أقل إلى عدة أجولة، وتبلغ فى حالة الحبوب الصغـيرة – مثلاً – من ٤٠٠–٥٠٠ كجم. تسـلم هذه البذور إلى هيئة خاصــة لإكثارهـا. وتقـع علـى المربى مسئولية المحافظة على بذور المربى مادام الصنف مستخدمًا فى الزراعة.

٢ – بذور الأساس Foundation Seed:

تزرع بذور المربى فى حقل لا يتوقع أن تظهر به نباتات من نفـس النـوع Volunteer Plants، ويحافظ عليه خاليًّا من الحشائش، مع المرور فيــه عـدة مـرات خـلال الموسم؛ للتخلص من النباتات غير المطابقـة لصفات الصنف. ويطلـق علـى البــذور الناتجـة اسـم بذور الأساس. وقد تنتج بذور الأساس من بذور أساس مماثلة سبق إنتاجــها، أو تنتـج – سنويًّا – من بذور المربى. وقد تستعمل بذور الأساس فى إنتاج البذور المعتمــدة مباشـرة، أو فى إنتاج البذور المسجلة.

٣ – البذور المسجلة Registered Seed:

تنتج البذور المسجلة بالإكثار المباشر لبذور الأساس. ويقوم المزارعون – عادة – بعملية الإكثار بعد التعاقد مع شـركات البـذور، ويلـزم إجـراء بعـض الفحـوص والاختبـارات الحقلية والمعملية؛ للتأكـد من نقاوة الصنــف، وخلـوه مـن الأمـراض الهامـة. وقـد تنتـج البذور المسجلة من بذور مسجلة مماثلة منتجــة فــى سـنوات سـابقة، أو يتـم إنتاجـها – سنويًّا – من بذور الأساس.

٤ – البذور المعتمدة Certified Seed:

تنتج البـذور المعتمـدة بالإكثـار المباشـر لبـذور الأسـاس، أو البـذور المعتمـدة. ويكـون إنتاجها تحت ظروف خاصة من الزراعة والعزل، وتخضـع لاختبـارات حقليـة ومعمليـة خاصـة، وللقوانين المنظمة لإنتاج البذور.

هذا .. ويمكــن إدخـال الهجـن كذلـك فـى برنـامج تصديـق البـذور؛ بإدخـال الآبـاء للاعتماد إلا أن معظم شركات البذور تقوم بهذه المهمة بمعرفتها.

يتبين من خطوات إكثار التقاوى أنه يمر حوالى ٤ سنوات بين إنتاج الصنف الجديد، وإنتاج كميات من تقاويـه، تكفـى للتوزيـع علـى المزارعـين (عـن Briggs & Knowles ١٩٦٧).

الفصل الثامن عشر

طرق إنتاج تقاوى الأصناف الهجين

نتناول بالشرح فى هذا الفصل الطرق المتبعة فى إنتاج تقاوى بعض المحاصيل الحقلية، وكذلك بعض محاصيل الخضر، وكيفية توظيف ظواهر انفصال الجنس، والعقم الذكرى، وعدم التوافق فى الإنتاج التجارى للبذرة الهجين. أما طرق خصى الأزهار - التى قد تلزم لإجراء التلقيحات فى بعض المحاصيل - فيمكن الرجوع إلى تفاصيلها فى حسن (٢٠٠٥).

الذرة

إن إنتاج بذور هجن الذرة يتطلب المحافظة على سلالات الآباء، وإنتاج الهجن الفردية، ثم البذور التجارية، وهى الهجن الثلاثية، أو الهجن الزوجية، أو هجن التلقيح القمى الزوجية double topcross hybrid.

يتم إكثار بذور سلالات الآباء فى حقول منعزلة لا ينمو بها نباتات ذرة من زراعات سابقة، ويجب ألا تقل المسافة بين حقل إكثار أى سلالة وأى حقل آخر للذرة من أى نوع عن ٢٠٠م، ولكن شرط مسافة العزل لا يكون ضروريًّا عند إجراء التلقيحات يدويًّا. وفى حالة السلالات الخصبة الذكر فإن نفاوتها فى موعد الإزهار يسمح بزراعتها متجاورة. ومن الضرورى إزالة كل النباتات المخالفة للصفات العامة للسلالات المكثرة بمجرد التعرف عليها، وخاصة قبل الإزهار، ولكن ذلك لا يمنع استمرار تلك العملية أثناء الإزهار وبعده كذلك، وكذلك بعد الحصاد بالنسبة للكيزان التى تكون مخالفة فى صفاتها لصفات السلالات المكثرة. ويفيد الحصاد المبكر فى تقليل أضرار الطيور وتعفن الكيزان ... إلخ.

وتنتج الهجن الفردية فى حقول منعزلة يزرع فيها خط من سلالة الأب بالتبادل مع خطين من سلالة الأم، مع قطع النورات المذكرة لنباتات الأمهات بعد يوم إلى يومين من

بزوغها، ولكن قبل انتشار حبوب اللقاح منها، لتأمين حدوث التلقيح من سلالة الأب فقط. تكرر تلك العملية فى حقول إنتاج البذرة الهجين يوميًا أيًا كانت الأحوال الجوية، مع الاهتمام بنباتات الخلفات وتلك التى تعرضت للرقاد. تحصد خطوط الآباء أولا للاستعمال التجارى، ثم تحصد خطوط الأمهات.

وعند إنتاج الهجن الزوجية تستخدم الهجن الفردية العالية المحصول كأمهات بمعدل ستة خطوط بالتبادل مع خطين من هجن الآباء الفردية (أو سلالات الآباء فى حالة إنتاج الهجن الثلاثية، أو صنف مفتوح التلقيح فى حالة التلقيح القمى topcross).

وتتم إزالة النورات المؤنثة من هجن الأمهات الفردية كما أسلفنا بيانه تحت إنتاج بذور الهجن الفردية. كما تنطبق شروط العزل وإزالة النباتات المخالفة الصفات على حقول إنتاج بذور الهجن، كما فى حقول إكثار سلالات الآباء.

ويمكن إنتاج بذور هجن الذرة دونما حاجة إلى عملية إزالة النورات المذكرة بالاستفادة من ظاهرة العقم الذكرى، كما أسلفنا بيانه.

القمح

مازال إنتاج هجن القمح فى مراحله التجريبية، ويعتمد إنتاج بذور الهجن على أحد النظم التالية:

١ – نظام العقم الذكرى الوراثى السيتوبلازمى، حيث يتوفر العقم السيتوبلازمى فى النوع *Triticum timopheevi*، وجين استعادة الخصوبة فى النوع *T. zhukovskyi* وتنتقل هاتان الصفتان إلى الأصناف التجارية بطريقة التهجين الرجعى. ومن المشاكل العديدة التى مازالت تواجه الاعتماد على هذا النظام فى إنتاج هجن القمح: إكثار السلالة العقيمة الذكر، واستعادة كل الخصوبة، والتوفيق بين موعدى استعداد المياسم لاستقبال حبوب اللقح فى سلالات الأمهات ومواعيد انتشار اللقاح فى سلالات الآباء، وتأمين قدر مناسب من التلقيح الخلطى.

٢ – نظام الـ XYZ:

يعتمد هذا النظام على ثلاث سلالات، هى:

أ – السلالة Z، وهى أصيلة فى طفرة عقم ذكرى متنحية فـى أحـد الكروموسـومات، وبها ٢١ زوجًا طبيعيًا من كروموسومات القمح.

ب – السلالة Y ، وهـى تمـاثل السـلالة Z باسـتثناء أنـها تحتـوى علـى كروموسـوم إضافى غريب يحمل جينًا للخصوبة.

جـ – السـلالة X، وهـى تمـاثل السـلالة Y باسـتثناء أنـها تحتـوى علـى زوج مـن الكروموسومات الغريبة عـن كروموسـومات القمـح (مثـل الشـوفان *Secale cereale*)، لا يقترنا بكروموسـومات القمح.

ويتم إنتاج البذرة الهجين على ثلاث خطوات، كما يلى:

الخطوة الأولى:

السلالة X	×	السلالة Z
(٢ن = ٤٢ + ٢)	↓	(٢ن = ٤٢)
	السلالة Y	
	(٢ن = ٤٢ + ١)	

الخطوة الثانية:

السلالة Y	×	السلالة Z
(٢ن = ٤٢ + ١)	↓	(٢ن = ٤٢)
	السلالة Z معدلة	
	(٢ن = ٤٢)	

الخطوة الثالثة:

القمح العادى	×	السلالة Z = المعدلة
(٢ن = ٤٢)	↓	(٢ن = ٤٢)
	الجيل الأول الهجين	
	(٢ن = ٤٢)	

٣ – العقم الذكرى الوراثى.

٤ – المعاملة بالمركبات الكيميائية المحدثة للعقم الذكرى.

القطن

تزرع تجاريًّا حاليًا هجنًا تجارية من النوع *Gossypium hirsutum*، وهجنـا نوعيـة، هى: *G. hirsutum × G. barbadense*، و *G. herbaceum × G. arboreum*. ويتم إنتـاج البذور حاليًا بالاعتماد على الخصى والتلقيح اليدويين، فى الوقت الذى تجرى فيه البحوث على الاستفادة من ظاهرتى العقم الذكرى الوراثى والوراثى السيتوبلازمى المتوفرتين فى القطن.

عند الاعتماد على الخصى والتلقيح اليدويين تزرع سلالتا الأم والأب فى قطع مستقلة فى حقل إنتاج البذور، على أن تتراوح النسبة بينهما من ١:٤ إلى ١:٥، ومع زراعة نباتات سلالة الأب فى موعدين أو ثلاثة مواعيد، يفصل بين كل موعدين منها أسبوعًا. تُزال النباتات المخالفة لسلالات الأبوين قبل بداية الإزهار. ويبدأ التلقيح اليدوى مع بداية الإزهار ويستمر لمدة ٧–١٠ أسابيع حسب فترة الإزهار، مع التركيز على دورات الإزهار المبكرة والمتوسطة، واستبعاد المتأخرة. وبعد الانتهاء من التلقيحات تُزال كل البراعم والأزهار التى تظهر بعد ذلك مع قطع أطراف أى نموات جديدة. ويلزم طوال فترة التلقيح ضرورة إزالة أى زهرة تتفتح قبل خصيها.

وجدير بالذكر أن نسبة التلقيح الخلطى تبلغ ١٠–٥٠٪ فى *G. hirsutum*، و ١–٢٪ فى *G. arboreum*، و ٥–١٠٪ فى *G. barbadense*، بينما تتراوح فترة الإزهار بين ٤٥، و ٩٠ يومًا.

يحدث التلقيح الخلطى فى القطن بواسطة الحشرات، وتتفتح الأزهار بين التاسعة صباحًا والثانية عشرة ظهرًا، وتبقى الزهرة فى حالة استعداد لاستقبال حبوب اللقاح لمدة ٨ ساعات بعد تفتحها، بينما يستغرق اكتمال تكوين البذور ونضج اللوزة بين ٤٠، و ٨٠ يومًا.

يجرى الخصى قبل تفتح الزهرة بنحو ١٢ ساعة، ويكون ذلك بعد ظهيرة اليوم السابق للتفتح. تزال أولاً بتلات الزهرة ثم الأسدية بالاستعانة بعطواة صغيرة وملقط. ونظرًا لأن النوع *G. barbadense* لا يتحمل إزالة التويج قبل التلقيح؛ لذا .. فإن أسدية هذا النوع تُزال من خلال فتحة يتم عملها فى التويج. وتتم حماية مياسم الأزهار المخصبة بقطعة من ماصة شراب.

يجرى تلقيح الأزهار المخصية فى صباح اليوم التالى بين التاسعة والثانية عشرة ظـهرًا باستعمال أزهارًا مكتملة التفتح حديثًا من سلالة الأب، تُجمع منـها حبوب اللقاح فـى ماصة شراب وتستعمل مباشـرة فـى التلقيح، ثـم تغطـى المياسم بنفس الماصـة التـى استعملت فى التلقيح.

وبالنسبة للعقم الذكرى الـوراثى فيعرف منه فى القطن ما لا يقل عـن عشـرة جينـات فى النوع *G. hirsutum*، وجينًا واحدًا فى *G. barbadense*، منها أربعة سائدة.

وأما العقم الذكرى الوراثى السيتوبلازمى فإنه يتوفر فى سيتوبلازم *G. harknesii* مـع جينـوم *G. hirsutum*. ويعد جين استعادة الخصوبة Rf – الـذى يوجـد فـى النـوع *G. harknessii* – ضرورى فى الهجن المنتجة.

الأرز

يتطلب إنتاج بذور الأرز الهجـين إكثـار بـذور سلالة ذات عقـم وراثـى سيتوبلازمى (سلالة A)، وسلالة الإدامة maintainer line (أو سلالة B)، وسلالة استعادة الخصوبـة restorer line (أو سلالة R)، وإنتاج بذور الجيل الأول الهُجين: A × R.

يجب اختيار منطقة إنتاج البذور بحيـث تتوفـر فيـها أفضـل الظـروف عنـد الإزهـار وانتثار حبوب اللقاح. وأفضل الظروف هى حرارة ٢٤–٢٨°م نـهارًا، مـع فـرق قـدره ٨–١٠°م بين حرارة الليل وحرارة النهار، ورطوبة نسبية ٧٠–٨٠٪، وإضاءة قوية.

يجب أن تكون حقول إنتاج البذور معزولة عن حقول الأرز الأخرى – بمـا فـى ذلـك الحقول التجاريـة لنفس الهجين المنتج – بما لا يقل عن ٢٠٠م، وذلك بالنسبة لحقـول إكثار بذور الأساس (السلالات A، و B، و R)؛ وبما لا يقل عـن ١٠٠م بالنسبة لحقـل إنتاج بذور الهجين: A × R.

يحافظ علـى نسبة ٢ : ١٠ بالنسبة لخطـوط سلالة الأم وسلالة الأب علـى التـوالى. ويجب أن يتوافق موعد التزهير فى السلالتين، علمًا بأن ذلك يمكن أن يتم بالتحكم فـى موعد زراعة سلالة الأب، والتسميد والرى.

وتفيد بعض المعاملات فى تحسين عقد البـذور، مثـل: تحريـك حبـل عنـد مستوى

النورات لأجل هزها، وقص الأوراق الطويلة (التى تفوق النـورات طـولاً)، ورش سـلالات الأمهات بالجبريللين.

الطماطم

من المفضل إنتاج بذور الطماطم فى البيوت المحميـة وإن كـان إنتاجـها فـى الحقـول ممكنًا.

عند إجراء التلقيحات لأجل الإنتاج التجارى لبذور الهجن تجمع حبوب اللقـاح إمـا باستعمال "نحلة" كهربائية electric bee تُحدث اهتزازات شديدة بالأزهار، حيث تسقط منها حبوب اللقاح، وإمـا مـن الأزهـار المجففـة. وفـى الطريقـة الثانيـة تجمـع الأزهـار الحديثة التفتح وتجفف على ٣٠°م (بوضع لمبة ١٠٠ وات مضاءة فوقها بمسافة ٣٠ سـم) لمدة ٢٤ ساعة حيث توضع فى برطمان يغطى من أعلى بمنخل دقيق تسمح ثقوبه بمـرور حبوب اللقاح، ثم بالغطاء العادى للبرطمان. وبهز البرطمان وهو مقلوب .. تسقط حبـوب اللقاح على الغطاء حيث يتم جمعها – بعد ذلك – فى وعاء أصغر.

يتعين استعمال حبوب اللقاح التى يتم جمعها فى التلقيح أولاً بأول، ويجرى التلقيـح إما باستعمال فرشاه لنقل حبوب اللقاح، وإما بغمس مياسم الأزهار المخصيـة فـى الوعـاء المحتوى على حبوب اللقاح.

وبعد إجراء التلقيحات لا يحتاج الأمر إلى إجراء أى حمايـة للأزهـار فـى الصوبـات، ولكن تلزم حمياتها بالتكييس فى الحقول.

الفلفل

انتجت بعض هجن الفلفل التجارية بالاعتماد على خاصية العقم الذكرى. ويتعين فى هذه الحالة التخلص من ٥٠٪ من نباتات الأمهات – التى تكـون خصبـة الذكـر – قبـل نقلها إلى الحقل، إلاّ أنه يصعب – عادة – تمييز النباتات العقيمـة الذكـر عـن الخصبـة الذكـر قبـل تفتـح الأزهـار، نظـرًا لعـدم ارتبـاط صفـة العقـم الذكـرى بـأى صفـة أخـرى مورفولوجية ظاهرة.

كذلـك اسـتعملت خاصيـة العقـم الذكـرى الوراثـى السـيتوبلازمى فـى إنتـاج الهجـن

التجارية، وهو نظام يتميز بعقم جميع نباتات سلالات الأمهات. ويلزم لإنتاج بذور الجيل الأول الهجين ثلاث سلالات، هى A (وهى: S ms/ms)، و B (وهى: N ms/ms)، و R (وهى: إما N MS/Ms، وإما S Ms/Ms). وأهم عيوب الاعتماد على هذا النظام عدم ثبات خاصية العقم الذكرى الوراثى السيتوبلازمى فى الفلفل فى جميع الظروف البيئية، بالإضافة إلى إحداثه لتأثيرات سيئة على النمو النباتى وعقد الثمار.

وإذا أنتجت الهجن بالتلقيح اليدوى فمن المفضل إجراء التلقيحات إما فى الصباح الباكر أو متأخرًا بعد الظهر. ولإجراء الخصى تُزال الأسدية – التى تتبادل مع البتلات – بالملقط ثم تكيس. تفحص البراعم الزهرية لأزهار سلالات الأمهات جيدًا بالعدسة المكبرة للتأكد من عدم وجود أى حبوب لقاح على المياسم، ثم تنقل إليها حبوب اللقاح بإمرار المتوك الكاملة التكوين بلطف فوقها، وإما بعد إخراج حبوب اللقاح من المتوك من تحززاتها الجانبية باستعمال إبرة رمحية. ويلى ذلك حماية الأزهار الملقحة من زيارة الحشرات لها بإحاطتها – هى وجزء من النمو الخضرى القريب منها – بكيس قماشى، على أن تُزال بعد نحو ٤–٦ أيام من التلقيح.

الباذنجان

تعطى الثمرة الواحدة من الباذنجان حوالى ٨٠٠–١٠٠٠ بذرة فى الأصناف ذات الثمار الطويلة، وحوالى ١٠٠٠–١٥٠٠ بذرة فى الأصناف ذات الثمار الكروية، وبذا .. فإنه يمكن الحصول على قدر جيد من البذور من عدد قليل نسبيًا من التلقيحات. وكما فى الطماطم .. يوصى باستعمال الصنف أو السلالة التى تنتج ثمارها عددًا أكبر من البذور كأمهات فى الهجن.

عند إجراء الخصى نختار البراعم الزهرية التى يتوقع تفتحها فى صباح اليوم التالى، وباستعمال الملقط يتم تفتيحها، ثم إزالة الأسدية – التى يتراوح عددها بين خمس وسبع – واحدة بعد الأخرى، ثم تكييس البراعم التى تم خصيها. ويراعى أثناء الخصى عدم فتق المتوك، وإذا حدث ذلك يستغنى عن تلك البراعم ويطهر الملقط بالكحول. يجرى الخصى – عادة – بعد الظهر، بينما تكون المياسم فى أوج استعدادها لاستقبال حبوب اللقاح فى يوم تفتح الأزهار. تكيس كذلك البراعم الزهرية التى يتوقع استعمالها كمصدر لحبوب اللقاح فى صباح اليوم التالى.

يكون تفتح الأزهار – عادة – في الساعة السابعة والنصف صباحًا، ويستمر إلى الحادية عشرة صباحًا، بينما يبدأ انتثار حبوب اللقاح حوالى التاسعة والنصف صباحًا. تجمع الأزهار التي سبق تكييسها في مساء اليوم السابق في طبق بترى، حيث تستعمل في تلقيح الأزهار المخصية. ويجرى التلقيح بالإمساك بالمتك الواحد بالملقط وجعل قمته تلمس سطح ميسم زهره سلالة الأم. وترجع أهمية جعل المتك في هذا الوضع الرأسي على الميسم أن حبوب اللقاح تخرج من فتحات توجد في قمة المتك. ومع الطرق على الملقط بالسبابة، تخرج حبوب اللقاح الصفراء اللون بكميات كبيرة. ومع انتهاء التلقيح تكيس الزهرة التي تم تلقيحها مرة أخرى.

الخيار

تنتج هجن الخيار الأنثوية gynoecious بإحدى الطرق التالية:

١ – بالتهجين بين سلالة أنثوية m^+m^+FF كأم مع سلالة وحيدة الجنس وحيدة المسكن $m^+m^+F^+F^+$ كأب، حيث يكون الجيل الأول الهجين ذات تركيب وراثي $m^+m^+FF^+$، ولا يكون أنثويًا تمامًا لكن فقط بدرجة عالية.

٢ – بالتهجين بين سلالة أنثوية m^+m^+FF كأم مع سلالة خنثى mmFF كأب، حيث يكون الجيل الأول الهجين أنثويًا وذات تركيب وراثي mm^+FF وعلى درجة عالية من الثبات في صفة الأنوثة، ولكن يتطلب الأمر خلط بذوره ببذور سلالة وحيدة الجنس وحيدة المسكن تكون مشابهة له مورفولوجيًا لتأمين حدوث عقد جيد للثمار في حقول الإنتاج التجارى للهجين.

٣ – بالتهجين بين سلالتين أنثويتين FF × FF لإنتاج هجين أنثوى تمامًا، مع الاعتماد على معاملة رش نباتات سلالات الآباء بنترات الفضة لأجل دفعها لإنتاج أزهار مذكرة.

كذلك يمكن الاعتماد على التلقيح اليدوى في إنتاج البذرة الهجين بسهولة نظرًا لأن النبات وحيد الجنس وحيد المسكن، وإذا ما أنتجت بذور الهجن في صوبات محكمة الإغلاق أمام دخول الحشرات الملقحة، فإن الأمر لا يحتاج حتى لعملية تكييس الأزهار لأن حبوب لقاح الخيار لزجة لا تنتقل من المتوك إلاّ بواسطة الحشرات.

أما إذا أجريت التلقيحات فــى الحقـول المكشـوفة فإنـه يتعـين – حينئـذ – اختيـار الأزهار المذكرة والمؤنثة التى يُرغب فى استعمالها فى التلقيحات بعد ظـهر اليـوم السـابق لتفتحها وإحكام غلقها إما بكبسولة جيلاتينية، وإما بربـط تويـج الزهـرة بشـريط سـلكى ورقى.

ويجرى التلقيح فى صباح اليوم التـالى بقطـع الأزهـار المذكـرة بجـزء مـن العنـق، ثـم التخلص من التويج برفق. والإمسـاك بـها مـن العنـق فـى عمليـة التلقيـح التـى تتطلـب ملامسة متوك الزهرة المذكرة لميسم الزهرة المؤنثة ثم إدارته برفق فوقه، وتركه فـى مكانـه على الميسم بعد التلقيح، ثم حماية الزهرة المؤنثة من حبـوب اللقـاح الغريبـة باسـتعمال وسيلة مناسبة مثل الشريط السلكى الورقى.

البطيخ

تزرع سلالات الآباء والأمهات المستعملة فى إنتاج الهجين فى حقول مختلفة.

يتم التعرف على الأزهار المؤنثة التـى يرغـب فـى تلقيحـها بعـد ظـهر اليـوم السـابق لتفتحها. تختار الأزهار ذات المبايض الكبيرة الحجم، وهى تُحمل – عادة – قريبًـا مـن أطراف الفروع القوية النمو، ويلى ذلك حمايتها باستعمال شريط سلكى ورقى.

ولإجراء التلقيح تقطف الأزهار المذكرة من نباتـات الآبـاء، وتسـتعمل فـى التلقيحـات بين السادسة والتاسعة صباحًا. يتـم أولاً ثنـى بتـلات الزهـرة المذكـرة إلى الخلـف حتـى تتمزق تاركـه وراءها الأسـدية بارزة وظاهرة، ويلى ذلـك الإمسـاك بـها مـن العنـق وحـك ميسم الزهرة المؤنثـة – برفق – بمتـوك الزهـرة المذكـرة، وبعـد ذلـك تتـم حمايـة الزهـرة الملقحة من حبوب اللقاح الغريبة لمدة يوم واحد على الأقل.

الكوسة

تزرع عدة خطوط من سلالة الأم بالتبادل مع خط واحد مـن سـلالة الأب، مـع عـزل حقل إنتاج بذور الهجن بمسافة لا تقل عن ١٠٠٠–١٥٠٠م عن حقول الكوسة الأخـرى. تُزال جميع الأزهار المذكرة يدويًا من خطوط السـلالة الأم قبـل تفتحـها، ويـترك التلقيـح للنحل، الذى يجب توفير خلاياه فى حقـول إنتـاج البـذرة الهجـين. ويفيـد فـى إنتـاج

البذرة الهجين بهذه الطريقة استعمال سلالات الكوسة التى تكون أنثوية بدرجة عالية – وهى متوفرة – كأمهات ويجب التخلص من جمع نباتات خطوط سلالة الأب قبل حصاد الثمار لتجنب حدوث الخلط الميكانيكى للبذور.

ويمكن بزراعـة خـط سـلالة الأب مبكـرًا قليـلاً، مـع رش بـادرات خطـا سـلالة الأم بالإثيفون بتركيز ٢٥٠ جزءًا فى المليون؛ بهدف منعها من تكوين أزهارًا مذكرة .. يمكـن بـذلك الاعتماد على النحل فى القيام بتلقيح الأزهـار المؤنثـة التـى تظـهر بالسـلالة الأم. هـذا .. ويتعين التركيز على العقـد المبكـر فقـط للثمـار إذا إن نبـاتات سـلالة الأم التـى سبقت معاملتها بالإثيفون تعطى – بعد فترة – أزهار مذكرة.

كذلك يمكن الاعتماد على خاصية العقم الذكرى الوراثى فى إنتاج بذور هجن الكوسة.

ويجرى التلقيح اليدوى فى الكوسة مثلما أسلفنا بيانه فى الخيار، مـع إعطـاء أهميـة خاصة لتلقيح الأزهار المؤنثة الأولى فى الظهور بسلالات الأمهات (عن Agrawal ١٩٩٨).

الصليبيات

تنتج بذور الصليبيـات بالاعتمـاد علـى خاصيـة عـدم التوافـق الذاتـى فـى كـل مـن الكرنب، والقنبيط والبروكولى، وكرنب بروكسل، والكيـل، علمًـا بـأن عـدم التوافـق فـى الصليبيات هو من النـوع الاسـبوروفيتى يراعـى عـزل حقـول إنتـاج البـذور عـن الحقـول الأخرى لإنتاج بذور الصليبيات بمالا يقل عن ١٦٠٠م.

عند إنتاج بذور هجن الجيل الأول تزرع أعداد متساوية مـن نباتـات سـلالتا الأبويـن (خط من كل منهما، أو خطـان، أو ثلاثـة خطـوط بالتبـادل)، ومـع افـتراض قـوة عـدم التوافق الذاتى فى كل منهما وتوافقهما خلطيًا، فإن التلقيح يتم بينهما بواسـطة النحـل، حيث تكون البذور المنتجة على أى من السلالتين من الهجين المطلوب.

كذلك يمكن بالاعتماد على خاصية عدم التوافق إنتاج تلقيـح قمـى يكـون فيـه مصـدر حبـوب اللقاح صنفًا مفتوح التلقيح، بينما تستعمل ســلالة مرباة داخليًـا وغـير متوافقـة ذاتيًا كأم.

كما تنتـج هجنًا ثلاثية يستعمل فى إنتاجــها سـلالة مربـاة داخليًـا كمصـدر لحبـوب

اللقاح تكون متوافقة خلطيًّا مع هجين فردى غير متوافق ذاتيًا يستعمل كـأم. وإذا كـانت السلالة المستعملة غير متوافقة ذاتيًا كذلك فإنه يمكن حصاد بـذور الهجـين الثلاثـى مـن نباتات كلا من السلالة والهجين الفردى.

وكما فى الذرة .. فإنه يمكن إنتاج هجنًا زوجيـة إذا اسـتعمل هجينـين فرديـين غـير متوافقين ذاتيًا ولكنهما متوافقان خلطيًّا، مع حصاد بذور الهجـين الزوجـى مـن نباتـات كلا الهجينين الفرديين.

وأخيرًا يمكن إنتاج هجنًا ثلاثية بتلقيحات قمية يستعمل فيـها صنفًـا مفتـوح التلقيـح كأب، وهجينًا فرديًّا متوافقًا معه كأم.

وبالإضافة إلى خاصية عدم التوافق، فإنه يعتمـد كذلـك علـى خاصيـة العقـم الذكـرى الوراثى فى إنتاج بذور هجن الصليبيات، ولكن على نطاق ضيق.

الجزر

تنتج بذور هجن الجزر بالاعتماد على خاصية العقم الذكرى الوراثـى السـيتوبلازمى، حيث يعـرف فى هذا المحصول نوعين من السـيتوبلازم العقيـم الذكـر، أحدهمـا يعـرف باسـم "المتك البنى" brown anther وفيه تضمحل المتوك وتنكمش قبل تفتح الزهرة، بينما يعرف الثانى باسم petaloidy، وفيـه تتحـول الأسـدية إلى بتـلات. والطـراز الثـانى هـو الأكثر استعمالاً فى إنتاج هجن الجزر؛ فعلى الرغم من أن الطـراز الأول يعطـى محصـولاً أكبر من البذور، فإنه أقل ثباتًا من الطراز الثانى.

ونظرًا لانخفاض محصول بذور الهجن الفرديـة للجــزر، فقـد اتجـه البـاحثون نحـو إنتاج هجن ثلاثية تكون فيها الأمهات هجنًا فردية.

البصل

تنتج هجن البصل بالاعتماد على خاصية العقم الذكرى الوراثى السيتوبلازمى.

البامية

يجرى الخصى والتلقيح فى البامية بطريقة تماثل – تقريبًا – تلك التى أسلفنا بيانـها بالنسبة للقطن.

وتجدر الإشارة إلى أنه قبل زيارة الحشرات للأزهار – الأمر الذى يحـدث بعـد تفتـح الأزهار مباشرة – فإن السطح السفلى فقط لفصوص الميسم هو الذى تصله حبوب اللقـاح، بينما تصل حبوب اللقاح إلى السطح العلوى وجوانب فصوص الميسم بعد زيارة الحشـرات الملقحة للزهرة.

الأسبرجس

الأسـبرجس نبات وحيد الجنس ثنائي المسكن، أى توجد منه نباتات مذكرة وأخـرى مؤنثة، ويكون ظهورهما بنسبة متساوية تقريبًا. وتعتمد صفة الجنس على جين واحـد M تكون فيه النباتات ذات التركيب الوراثـى: MM، و Mm مذكرة، بينما تكون النباتـات ذات الـتركيب الوراثـى mm مؤنثـة. كذلـك تظـهر أحيانًـا نباتـات خنثـى andromonoecious تحمل أساسًا أزهارًا خنثى مع عدد قليل من الأزهار المذكرة الصغيرة الحجم ولكنها كاملة الخصوبة.

وتُنتج الهجن المذكـرة فـى الأسـبرجس باسـتعمال النباتـات الخنثـى، وذلـك بتلقيـح السـلالات المؤنثـة (mm) مـع نباتـات أخـرى مذكـرة (MM) تعـرف بـالمذكرة الفائقـة supermales، هى فى واقع الأمر نباتات خنثى أصيلة. وتمـيز النباتـات المذكـرة الفائقـة الأصيلة (MM) عن الخنثى الخليطـة (Mm) باختبـار النسـل، حيـث تعطـى النباتـات الخنثى المذكرة الفائقة نباتات كلها مذكرة فائقة (MM)، بينما تعطى النباتـات الخنثـى الخليطة (Mm) – عند تلقيحها ذاتيًا – نباتات مذكرة فائقـة (MM)، ونباتات مذكـرة عادية (Mm)، ونباتات مؤنثة (mm) بنسبة ١ : ٢ : ١، على التوالى.

وتتميز هجن الأسبرجس المذكرة، بما يلى:

١ – تعيش لفترة أطول، وتنتج محصولاً أكبر من محصول النباتات الوحيـدة الجنـس الثنائية المسكن.

٢ – تعطى محصول سنوى أكثر تبكيرًا.

٣ – لا تنتج بذورًا يمكن أن تنبت – كأى حشيشـة – وتصبـح مشـكلة فـى الحقـول الإنتاجية.

٤ – لا توجد بذور يمكن أن تنافس الجذور الخازنة على الغذاء المجهز.

تقيم القدرة العامة والقدرة الخاصة على التآلف لعدة تلقيحات دياليل بين بعض النباتات المؤنثة (mm) التى تنتج من برنامج تربية داخلية لنباتات خنثى (Mm) حتى الجيل السادس، وأخرى مذكرة فائقة (MM). تتم المحافظة على سلالات الآباء عن طريق مزارع الأنسجة، مع ضرورة التخلص من الكالوس الذى قد يتكون فى تلك المزارع أولاً بأول حتى لا تنمو منه نباتات قد تكون مختلفة عن نباتات الآباء.

تزرع نباتات الآباء – المنتجة فى مزارع الأنسجة – فى الحقل على مسافة ١٥٠ سم بين الخطوط، و ٦٠ سم بين النباتات فى الخط، مع مراعاة أن تكون أعداد خطوط الأب إلى الأم بنسبة ١ : ٤ بالتبادل. ويراعى توفر مسافة عزل لا تقل عن ٣٠٠م.

وللحصول على أكبر قدر من محصول البذور يراعى عدم حصاد المهاميز، وتوفير خلايا النحل بمعدل ٥–١٠ خلايا للهكتار (٢–٤) خلايا للفدان)، ولا تُحصد سوى الثمار الحمراء المكتملة النضج (عن Agrawal ١٩٩٨).



مصادر الكتاب

حسن، أحمد عبدالمنعم (٢٠٠٥). الأسس العامة لتربية النبات. الدار العربية للنشر والتوزيع – القاهرة – ٤٧٥ صفحة.

الخشن، على على، وفؤاد حسن خضر، ومحمد إسماعيل على، وأمين على السيد (١٩٨٨) قواعد تربية النبات، كلية الزراعة – جامعة الإسكندرية – ٤٣٣ صفحة.

طنطاوى، عبدالعظيم، وعلى حامد محمد (١٩٦٣). أساسيات علم الوراثة. دار المعارف – القاهرة – ٧٠٨ صفحات.

Agrawal, R. L. 1998. Fundamental of plant breeding and hybrid seed production Science Pub., Inc., Enfield, New Hampshire, USA. 394.

Ahloowalia, B. S. and M. Maluszynski. 2001. Induced mutations – A new paradigm in plant breeding. Euphytica 118: 167-173.

Alexander, D. E. 1975. The identification of high-quality protein variants and their use in crop improvement, pp. 223-230. In: O. H. Frankel and J. G. Hawkes. (ed.). Crop genetic resources for today and tomorrow. Cambridge Univ. Pr., Cambridge.

Allard, R. W. 1964. Principles of plant breeding. Wiley, N. Y. 485 p.

Allard, R. W. 1999. Principles of plant breeding. (2nd ed). John Wiley & Sons. Inc., N. Y. 254 p.

ASHS, American Society for Horticultural Science. 1986. Overcoming barriers to interspecific hybridization of perennial fruit crops. HortScience 21: 39-64.

Avery, G. S., Jr., E. B. Joahanson, R. M. Addoms, and B. F. Thompson. 1947. Hormones and horticulture. McGraw-Hill Book Co., N. Y. 326 p.

Bender, F. E., L. W. Douglass, and A. Kramer. 1982. Statistical methods for food and agriculture. Avi Pub. Co., Inc., Westport, Connecticut. 345 p.

Bhojwani, S. S. and M. K. Razdan. 1983. Plant Tissue culture: Theory and practice. Elsevier, Amsterdam 502 p.

Birkett, C. 1979. Heredity development and evolution. McMillan Education Ltd., London. 202 p.

Bos, I. 1987. How to develop from parents a new variety of a self-fertilizing crop? Euphyti 36: 455-466.

Boury, S., I. Lutz, M. C. Gavalda, F. Guidet, and A. Schlesser. 1992. Genetic fingerprinting in cauliflower by the RAPD method and determination of F_1 hybrid purity in a seed lot. Agronomie 12(9): 669-681.

Brar, D. S. and S. M. Jain. 1998. Somaclonal variation: Mechanism and applications in crop improvement, pp. 15-37. In: S. M. Jain, D. S. Brar, and B. S. Ahloowalia. (eds.). Somaclonal variation and induced mutations in crop improvement. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Brewbaker, J. L. 1964. Agricultural genetics. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. Y. 156 p.

Briggs, F. N. and P. F. Knowles. 1967. Introduction to plant breeding. Reinhold Pub. Co., N. Y. 426 p.

Bringhurst, R. S., S. Arulsekar, J. F. Hancock, Jr., and V. Voth. 1981. Electrophoretic characterization of strawberry cultivars. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 106: 684-687.

Burnham, C. R. 1966. Cytogenetics in plant improvement, pp. 139-187. In: K. J. Frey (ed.). Plant breeding. Iowa State University Press, Ames, Iowa.

Cansian, R. and S. Echeverrigaray. 2000. Discrimination among cultivars of cabbage using randomly amplified polymorphic DNA markers. HortScience 35(6): 1155-1158.

Chahal, G. S. and S. S. Gosal. 2002. Principles and procedures of plant breeding. Alpha Science International Ltd., Pangbourne, UK. 604 p.

Chaudhari, H. K, 1971. Elementary principles of plant breeding (2nd ed.). Oxford & Ibh Pub. Co., New Delhi. 327 p.

Chopra, V. L. (ed.). 2000. Plant breeding: theory and practice (2nd ed.). Oxford & IBH Pub. Co. Pvt. Ltd, New Delhi, India.

Chrispeels, M. J. and D. E. Sadava. 1994. Plants, genes, and agriculture. Jones and Bartlett Publishers, Boston. 478 p.

Chu, C. C. 1982. Haploids in plant improvement, pp. 129-158. In: I. K. Vasil, W. R. Scowcroft, and K. J. Frey. (eds.). Plant improvement and somatic cell genetics. Academic Pr., N. Y.

Cochran, W. G. and G. M. Cox. 1957. Experimental designs. Wiley, N. Y. 611 p.

Craig, R. 1968. Implications of the new genetics in plant breeding. HortScience 3: 243-249.

Crall, J. M. 1990. 'Charlee' watermelon. HortScience 25: 812-813.

Crow, J. F. 2000. The rise and fall of overdominance. Plant Breeding Reviews 17: 225-257.

Custers, J. B. M. and A. P. M. Den Nijs. 1986. Effects of aminoethoxyvinylglycine (AVG), environment, and genotypes in overcoming hybridization barriers between *Cucumis* species. Euphytica 35: 639-647.

Darrow, G. M. 1966. The strawberry: history, breeding and physiology. Holt, Rinehart and Winston, N. Y. 447 p.

Dhawan, O. P. and U. C. Lavania. 1996. Enhancing the productivity of secondary metabolites via induced polyploidy: a review. Euphytica 87: 81-89.

[illegible]ickson, M. H. and D. H. Wallace. 1986. Cabbage breeding, pp. 395-432. In: [illegible]. J. Bassett. (ed.). Breeding vegetable crops. Avi Pub. Co., Inc. Westport, Connecticut.

Dowl[illegible] D., L. Currah, F. J. Horobin, J. C. Jackson, and G. J. Faulk[illegible]. 1985. Seed production of an F_1 hybrid onion in ployethylene tunnels. J. Hort. Sci. 60: 251-256.

Drake, J. W. 1969. Mutagenic mechanisms. Ann. Rev. Genet. 3: 247-268.

Dunwell, J. M. 1985. Haploid cell cultures, pp. 21-36. In: R. A. Dixon. (ed.). Plant cell culture: a practical approach. IRL Press, Oxford.

Duvick, D. N. 1966. Inflnence of morphology and sterility on breeding

methodology, pp. 85-138. In: K. J. Frey. (ed.). Plant breeding. Iowa State Univ. Pr., Ames, Iowa.

Edmond, J. B., T. L. Senn, F. S. Andrews, and R. G. Halfacre. 1975. Fundamentals of horticulture. (4th ed.). McGraw-Hill Book Co., N.Y. 560 p.

Egisti, O. J. and P. Dustin, Jr. 1955. Colchicine in agriculture, medicine, biology and chemistry. Iowa State College Pr., Ames, Iowa. 470 p.

Elliott, F. C. 1958. Plant breeding and cytogenetics. McGraw, N. Y. 395 p.

Emsweller, S. L., P. Brierley, D. V. Lumsden, and F. L. Mulford. 1937. Improvement of flowers by breeding, pp. 890-998. In: Yearbook of agriculture: Better plants and animals. US Dept. Agric., Washington, D. C.

Esen, A., R. W. Scora, and R. K. Soost. 1975. A simple and rapid screening procedure for identification of zygotic *Citrus* seedlings amony crosses of certain taxa. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 100: 558-561.

Fehr, W. R. 1987. Principles of cultivar development: vol. 1. Theory and technique. Macmillian Pub. Co., N. Y. 536 p.

Ficcadenti, N., P. Veronese, S. Sestili, P. Crino, S. Lucretti, M. Schiavi, and F. Saccardo. 1995. Influence of genotype on the induction of haploidy in *Cucumis melo* L. by using irradiated pollen. Journal of Genetics & Breeding 49(4): 359-364.

Garcia-Lampasona, S., L. Martinez, and J. L. Burba. 2003. Genetic diversity among selected Argentinean garlic clones (*Allium sativum* L.) using AFLP (amplified fragment length polymorphism). Euphytica 132: 115-119.

Gardner, E. J. and D. P. Sunstad. 1984. Principles of genetics. John Wiley & Sons, N. Y. 580 p.

Gardner, E. J., M. J. Simmons, and D. P. Snustad. 1991. Principles of genetics. (8th ed.). John Wiley & Sons, Inc., N. Y. 649 p.

Gatehouse, A. M. R., V. A. Hilder, and D. Boulter. (eds.). Plant genetic manipulation for crop protection. CAB International, Wallingford, UK. 266 p.

George, R. A. T. 1999. Vegetable seed production. (2nd ed.). CABI Publishing, CAB International, Wallingford, UK. 328 p.

Gomez, K. A. and A. A. Gomez. 1984. Statistical procedures for agricultural research. John Wiley & Sons, N. Y. 680.

Gradziel, T. M. and R. W. Robinson. 1989. Breakdown of self-incompatibility during pistil development in *Lycopersicon peruvianum* by modified bud pollination. Sexual Reproduction 2(1): 38-42.

Gradziel, T. M. and R. W. Robinson. 1991. Overcoming unilateral breeding barriers between *Lycopersicon peruvianum* and cultivated tomato, *Lycopersicon esculentum*. Euphytica 54: 1-9.

Grosch, D. S. 1965. Biological effects of radiations. Blaisdell Pub. Co., N. Y. 293 p.

Gupta, S. K. (ed.). 2000. Plant breeding: theory and techniques. Agrobios (India), Jodhpur. 387 p.

Haglund, W. A. and W. C. Anderson. 1987. Effect of single plant selection in commercial pea cultivars on bloom dates and on green pea yield for processing. HortScience 22: 483-485.

Hancock, J. F. 1997. The colchicine story. HortScience 3(6): 1011.

Harding, P. H. 1983. Testing and cultivar evaluation, pp. 371-382. In: J. N. Moore and J. Janic. (eds.). Methods in fruit breeding. Purdue Univ. Press, West Lafayette. Indiana.

Hartmann, H. T. and D. E. Kester. 1983. Plant propagation: principles and practices. (4th ed.). Prentice/Hall International, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey. 727 p.

Hawkes, J. G. 1983. The diversity of crop plants. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts. 184 p.

Hayes, H. K., F. R. Immer, and D. C. Smith. 1955. Methods of plant breeding. McGraw, N. Y. 551 p.

Herskowitz, I. H. 1965. Genetics. Little, Brown & Co., Boston. 554 p.

Hussain, A., H. Ramirez, W. Bushuk, and W. Roca. 1986. Field bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivar identification by electrophoregrams of cotyledon storage proteins. Euphytica 35: 729-732.

IAEA, Internatinnal Atomic Energy Agency, Vienna 1968. Mutations in plant breeding. 311 p.

IAEA, International Atomic Energy Agency, Vienna 1973. Induced mutations in vegetatively propagated plants. 222 p.

Ilba, H. 2003. RAPD markers assisted varietal identification and genetic purity test in pepper, *Capsicum annuum*. Euphytica 97: 211-218.

Jacobs, M. 1975a. Isozymes and a strategy for their utilization in plant genetics. I. Isozymes: genetics and epigenetic control, pp. 365-378. In: L. Ledoux. (ed.). Genetic manipulations with plant material. Plenum Pr., N. Y.

Jacobs, M. 1975b. Isozymes and strategy for their utilization in plant genetics, pp. 379-389. In: L. Ledoux. (ed.). Genetic manipulations with plant material. Plenum Pr., N. Y.

Jain, S. M., S. K. Sopory, and R. E. Veilleux. (eds.). 1996. *In vitro* haploid production in higher plants. Vol. 1. Fundamental aspects and methods. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 339 p.

Jain, S. M., D. S. Brar, and B. S. Ahloowalia. (eds.). 1998. Somaclonal variation and induced mutations in crop improvement. Kluwer Academic Publishes, Dordrecht. 615.

Jan, C. C., C. O. Qualset, and J. Dovark. 1982. Wheat-barley hybrids. Calif. Agric. 36(8): 23-24.

Janick, J., R. E. Bagwill, and J. R. Nesbitt. 1983. Cultivar release and protection, pp. 383-398. In: J. N. Moore and J. Janick. (eds.). Methods in fruit breeding. Purdue Univ. Press, West Lafayette, Indiana.

Jones, R. W. 1968. Hybridization of apricot x almond. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 92: 29-33.

Khush, G. S. and S. S. Virmani. 1966. Haploids in plant breeding, pp. 11-33. In: S. M. Jain, S. K. Sopory, and R. E. Veilleux. (eds.). *In vitro* haploid production in higher plants. Vol. 1. Fundamental aspects and methods. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

King, D. 1991. Patenting of plants and animals: ethical, environmental and socio-economic issues. Biotech Forum Europe 8(7-8): 398-399.

Knott, D. R. and J. Dovrak. 1976. Alien germplasm as a source of resistance to disease. Ann. Rev. Phytopath. 14: 211-235.

Kurtar, E. S., N. Sari, and K. Abak. 2002. Obtention of haploid embryos and plants through irradiated pollen technique in squash (*Cucurbita pepo* L.). Euphytica 127: 335-344.

Lallemand, J., F. Briand, F. Breuils, D. Denoue, and C. Rameau. 1994. Identification of asparagus varieties by isozyme patterns. Euphytica 79: 1-4.

Lapins, K. O. 1983. Mutation breeding, pp. 74-99. In: J. N. Moore and J. Janic. (eds.). Methods in fruit breeding. Purdue Univ. Pr., West Lafayette, Indiana.

Larkin, P. J. 1998. Introduction, p. 3-13. In: S. M. Jain, D. S. Brar, and B. S. Ahloowalia. (eds.). Somaclonal variation and induced mutations in crop improvement. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Larter, E. N. 1979. Triticale, pp. 117-120. In: N. W. Simmonds. (ed.). Evolution of crop plants. Longman, London.

Layne, R. E. C. 1983. Hybridization, pp. 48-65. In: J. N. Moore and J. Janick. (eds.). Methods in fruit breeding. Purdue Univ. Pr., West Lafayette, Indiana.

LeClerg, E. L., W. H. Leonard, and A. G. Clark. 1962. Field plot technique. Burgess Pub. Co., Minneapolis, Minn. 373 p.

Lester, R. N. and J. H. Kang. 1998. Embryo and endosperm function and failure in *Solanum* species and hybrids. Annals of Botany 82(4): 445-453.

Li, Y., J. F. Whitesides, and B. Rhodes. 1999. In vitro generation of tetraploid watermelon with two dinitroanilines and colchicine. Cucurbit Genetics Cooperative 22: 38-40.

Liedl, B. E., and N. O. Anderson. 1993. Reproductive barriers: Identification, uses, and circumvention. Plant Breed. Rev. 11: 11-154.

Lindhout, P. and C. Purimahua. 1988. Use of *L. peruvianum* LA 1708 and LA 2172 as bridge between *L. esculentum* and *L. peruvianum*. Tomato Genetics Cooperative Report 38: 29.

Little, T. M. and F. J. Hills. 1978. Agricultural experimentation. John Wiley & Son, N. Y. 350 p.

Lyons, M. E., M. H. Dickson, and J. E. Hunter. 1987. Recurrent selection for resistance to white mold in *Phaseolus species*. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 112: 149-152.

Magness, J. R. 1937. Progress in apple improvement, pp. 575-614. In: Yearbook of agriculture: Better plants and animals II. U. S. Dept. Agric., Washington, D. C.

Maisonneuve, B., M. C. Chupeau, Y. Bellec, and Y. Chupeau. 1995. Sexual and somatic hybridization in the genus *Lactuca*. Euphytica 85: 281-285.

Maliga, P., L. Menczel, V. Sidorov, L. Marton, A. Csepl, P. Medgyesy, T. M. Dung, G. Lazar, and F. Nagy. 1982. Cell culture mutations and their uses, pp. 221-237. In: I. K. Vasil, W. R. Scowcroft, and K. J. Frey. (ed.). Plant improvement and somatic cell genetics. Academic Press, N. Y.

Maluszynski, M., B. S. Ahloowalia, and B. Sigurbjornsson 1995. Application of *in vivo* and *in vitro* mutation techniques for crop improvement. Euphytica 85: 303-315.

Mennella, G., A. Iori, V. Onofaro Sanaja, and V. Magnifico. 1996. Broccoli and cauliflower cultivars identification through LE-HPLC seed protein analysis. Acta Horticulturae No. 407: 115-121.

Metz, P. L. J., J. P. Nap, and W. J. Stiekema. 1995. Hybridization of radish (*Raphanus sativus* L.) and oilseed rape (*Brassica napus* L.) through a flower-culture method. Euphytica 83: 159-168.

Mohr, H. C. 1986. Watermelon breeding pp. 37-66. In: M. J. Bassett. (ed.). Breeding Vegetable crops. Avi Pub. Co., Inc., Westport, Connecticut.

Moore, J. N. 1993. Plant patenting: a public fruit breeder's assessment. HortTechnology 3(3): 262-266.

Mori, M., K. Hosaka, Y. Umemura, and C. Kaneda. 1993. Rapid identification of Japanese potato cultivars by RAPDSs. Japanese Journal of Genetics 68(3): 167-174.

Neal, C. A. and L. D. Topoleski. 1983. Effects of the basal medium on growth of immature tomato embryos *in vitro*. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 108(3): 434-438.

North, C. 1979. Plant breeding and genetics in horticulture. Macmillan Pr., Ltd., London. 150 p.

Nugent, P. E. 1987. C879-J_1 and- J_2 virescent mutant muskmelon breeding lines. HortScience 22: 333-335.

Peloquin, S. J. 1981. Chromosomal and ctyoplasmic manipulations, pp. 117-150. In: K. J. Frey. (ed.). Plant breeding II. The Iowa State University Press, Ames.

Pike, L. M. 1986. Onion breeding, pp. 357-394. In: M. J. Bassett. (ed.). Breeding vegetable crops. Avi Pub. Co., Inc., Westport, Connecticut.

Poehlman, J. M. and D. A. Sleper. 1995. Breeding field crops. (4^{th} ed.). Iowa State Univ. Pr., Ames. 494 p.

Prakash, C. S., G. H. He, and R. L. Jarret. 1996. DNA marker-based study of genetic relatedness in United States sweetpotato cultivars. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 121(6): 1059-1062.

Purseglove, J. W. 1972. Tropical crops: moncotyledons. The English Language Book Society, London. 607 p.

Purseglove, J. W. 1974. Tropical crops: dicotyledons. The English Language Book Society, London. 719 p.

Rick, C. M. 1979. Evaluation of interspecific barriers in *Lycopersicon*, pp. 283-86. In: A. C. Zeven and A. M. van Harten. (eds.). Broodening the genetic base of crops. Center for Agr. Pub. & Doc., Wageningen.

Rick, C. M. 1980. Potential improvement of tomatoes by controlled introgression of genes from wild species, pp. 167-173. In: A. C. Zeven and A. M. van Harten. (eds.). Broodening the genetic base of crops. Centre for Agric. Pub. & Doc., Wageningen.

Rick, C. M. 1982. Isozymes in plant breeding. Calif. Agric. 36(8): 28.

Rick, C. M. 1987. Seedling traits of primary trisomics. Tomato Genetics Cooperative Report 37: 60-61.

Riggs, T. J. 1988. Breeding F_1 hybrid varieties. J. Hort. Sci. 63: 369-382.

Ryder, E. J. 1984. The art and science of plant breeding in the modern world of research management. HortScience 19: 808-811.

Sari, N., K. Abak, M. Pitrat, J. C. Rode, and R. D. de Vaulx. 1994.

Induction of parthenocarpic haploid embryos after pollination by irradiated pollen in watermelon. HortScience 29(10): 1189-1190.

Savin, F., V. Decombe, M. Le Couviour, and J. Hollard. 1988. The x-ray detection of haploid embryos arisen in muskmelon (*Cucumis melo* L.) seeds, and resulting from a parthogentic development induced by irradiated pollen. Cucurbit Genetics Cooperative Report 11: 39-42.

Scowcroft, W. R. 1982. Somatoclonal variations: a new option for plant improvement, pp. 159-179. In: I. K. Vasil, W. R. Scowcroft, and K. J. Frey. (eds.). Plant improvement and somtic cell gendtics. Academic Press. N. Y.

Segeren, M. I., M. R. Sondahl, W. J. Siqueira, H. P. Medina Fihlo, H. Nagai, and A. L. Lourencao. 1993. Tomato breeding: 1. Embryo rescue of interspecific hybrids between *Lycopersicon esculentum* Mill. and *L. peruvianum* (L.) Mill. Revista Brasileira de Genetica 16(2): 367-380.

Sharma, H. C, 1995. How wide can a wide cross be ? Euphytica 82: 43-64.

Sharma, D. R., R. Kaur, and K. Kumar. 1996. Embryo rescue in plants – a review. Euphytica 89: 325-337.

Simmonds, N. W. 1979. Principles of crop improvement. Longman, London. 408 p.

Simmonds, N. W. and J. Smartt. 1999. Principles of crop improvement. Blackwell Science Ltd, London, UK. 412 p.

Simon, C. J. and J. C. Sanford. 1990. Separation of 2n potato pollen from a heterogenous pollen mixture by velocity sedimentation. HortScience 25(3): 342-344.

Singh, B. D. 1993. Plant breeding. (6^{th} ed.). Kaylani Pub., Ludbiana, India. 896 p.

Singh, P. and S. S. Narayanan. 1993. Biometrical techniques in plant breeding. Kalyani Publishers, Ludhiana, India. 249 p.

Singh, A. K., J. P. Moss, and J. Smartt. 1990. Ploidy manipulations for interspecific gene transfer. Adv. Agron. 43: 199-240.

Snedecor, G. W. and W. G. Cochran. 1967. Statistical methods. (6^{th} ed.). Oxford & IBH Pub. Co., New Delhi. 593 p.

Sprague, G. F. 1967. Plant breeding. Ann. Rev. Genet. 1: 269-294.

Steel, R. G. D. and J. H. Torrie. 1960. Principles and procedures of statistics. McGraw, N. Y. 481 p.

Swanson, C. P., T. Merz, and W. J. Young. 1967. Cytogenetics. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J. 194 p.

Uhlinger, R. D. 1982. Wide crosses in herbaceous perennials. HortScience 17: 570-574.

Vaughn, K. C. 1983. Chimeras and variegation: problems in propagation. HortScience 18: 845-848.

Visser, T. and J. J. Verhaegh. 1978. Inheritance and selection of some fruit characters of apple. II. The relation between leaf and fruit pH as a basis for pre-selection. Euphytica 27: 761-765.

Wallace, D. H. and M. E. Nasrallah. 1968. Pollination and serological procedures for isolating incompatibility genotypes in the crucifers. Cornell University, Agric. Exp. Sta., N. Y. State College of Agriculture, Ithaca. Memoir 406. 23 p.

Way, R. D. 1971. Hastening the fruiting of apple seedlings. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 96: 384-389.

Welsh, J. R. 1981. Fundamentals of plant genetics and breeding. John Wiley & Sons, N. Y. 290 p.

Whitaker, T. W. and R. W. Robinson. 1986. Squash breeding, pp. 209-242. In: M. J. Bassett. (ed.). Breeding vegetable crops. Avi Pub. Co., Inc., Westport, Connecticut.

Williams, W. 1964. Genetical principles and plant breeding. Blackwell Scientific Pub., Oxford. 504 p.

كتب الدار العربية للنشر والتوزيع

*** سلسلة محاصيل الخضر: تكنولوجيا الإنتاج والممارسات الزراعية المتطورة**

- الطماطم (تكنولوجيا الإنتاج والفسيولوجى)	د. أحمد عبدالمنعم
- الطماطم (الأمراض والآفات ومكافحتها)	د. أحمد عبدالمنعم
- إنتاج البطاطس	د. أحمد عبدالمنعم
إنتاج البصل والثوم	د. أحمد عبدالمنعم
- القرعيات (تكنولوجيا الإنتاج والفسيولوجى)	د. أحمد عبدالمنعم
- القرعيات (الأمراض والآفات ومكافحتها)	د. أحمد عبدالمنعم
- إنتاج الفلفل والباذنجان	د. أحمد عبدالمنعم
- إنتاج الخضر البقولية	د. أحمد عبدالمنعم
- إنتاج الفراولة	د. أحمد عبدالمنعم
- إنتاج الخضر الكرنبية والرمرامية	د. أحمد عبدالمنعم
- إنتاج الخضر المركبة والخبازية والقلقاسية	د. أحمد عبدالمنعم
- إنتاج الخضر الخيمية والعليقية	د. أحمد عبدالمنعم
إنتاج الخضر الثانوية وغير التقليدية (ج١، ج٢، ج٣)	د. أحمد عبدالمنعم

*** سلسلة العلم والممارسة فى المحاصيل الزراعية**

- الطماطم ط٢	د. أحمد عبدالمنعم
- البطاطس ط٢	د. أحمد عبدالمنعم
- تكنولوجيا الزراعات المحمية الصوبات ط٢	د. احمد عبدالمنعم
- الخضر الجذرية ط٢	د. احمد عبدالمنعم
- الخضر الثانوية ط٢	د. احمد عبدالمنعم
- الخضر الثمرية ط٢	د. احمد عبدالمنعم
- القرعيات ط٢	د. احمد عبدالمنعم
- البصل والثوم ط٢	د. احمد عبدالمنعم

*** سلسلة إنتاج الخضر فى الأراضى الصحراوية**

- إنتاج خضر المواسم المعتدلة والباردة فى الأراضى الصحراوية	د. أحمد عبدالمنعم
- إنتاج خضر المواسم الدافئة والحارة فى الأراضى الصحراوية	د. أحمد عبدالمنعم
- أساسيات إنتاج الخضر فى الأراضى الصحراوية	د. أحمد عبدالمنعم
- إنتاج وفسيولوجيا واعتماد بذور الخضر	د. أحمد عبدالمنعم

للدار إصدارات أخرى فى مجالات علوم التربة والأرضى والحشرات والميكروبيولوجى والوراثة وعلوم تكنولوجيا الأغذية والعلوم الهندسية والبيئية والعلوم البحتة وغيرها.

كتب الدار العربية للنشر والتوزيع

*** البساتين**

– أساسيات البساتين الحديثة	عبدالله الشريف
– إنتاج الموز	على الخريبى
– الفواكه النادرة	د. أحمد العبيدى
– المشاتل	د. سعيد
– النخيل العملى	د. حسونة
– بساتين الفاكهة متساقطة الأوراق ط٢	وليم تشارلز
– بساتين الفاكهة مستديمة الخضرة ط٢	وليم تشارلز
– تصميم وتنسيق الحدائق	د. أبودهب محمد
– زراعة وإنتاج الفاكهة فى الأراضى الجديدة ط٢	د. مختار محمد
– زراعة وإنتاج نباتات الزهور والزينة	د. الشحات نصر
– علم البساتين ط٢	جانيك
– فسيولوجيا أشجار الفاكهة	د. حسن جندية
– كروم العنب وطرق إنتاجها ط٢	د. جميل سوريال
– النخيل جـ١ ، جـ٢	فتحى حسين أحمد
– زراعة عيش الغراب	د. محمد على أحمد
– عيش الغراب البرى والكمأة (الترفاس)	د. محمد على أحمد
– التدريبات العملية لزراعة عيش الغراب (الأنواع التجارية)	د. محمد على أحمد
– طهى عيش الغراب وفوائده الغذائية والطبية	د. محمد على أحمد

*** التربة والأراضى**

– الأسمدة العضوية والأراضى الجديدة	د. سامى محمد
– التسميد فى طرق الرى الحديث	أ. د. محمد حجازى
– تمارين معملية فى خصوبة التربة	د. محمد أحمد الحاج
– تمارين معملية فى ميكروبيولوجيا التربة	د. محمد أحمد الحاج
– حركة الماء فى الأراضى ومقننات الرى	د. عبد المنعم عامر
– مدخل فى علم الاستشعار عن بعد	د. عبد رب النبى
– هيدروفيزياء الأراضى والرى والصرف المزرعى	د. عبدالمنعم عامر

للدار إصدارات أخرى فى مجالات علوم التربة والأرضى والحشرات والميكروبيولوجى والوراثة وعلوم تكنولوجيا الأغذية والعلوم الهندسية والبيئية والعلوم البحتة وغيرها.